



KFA

KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

652₁

1. Statusbericht

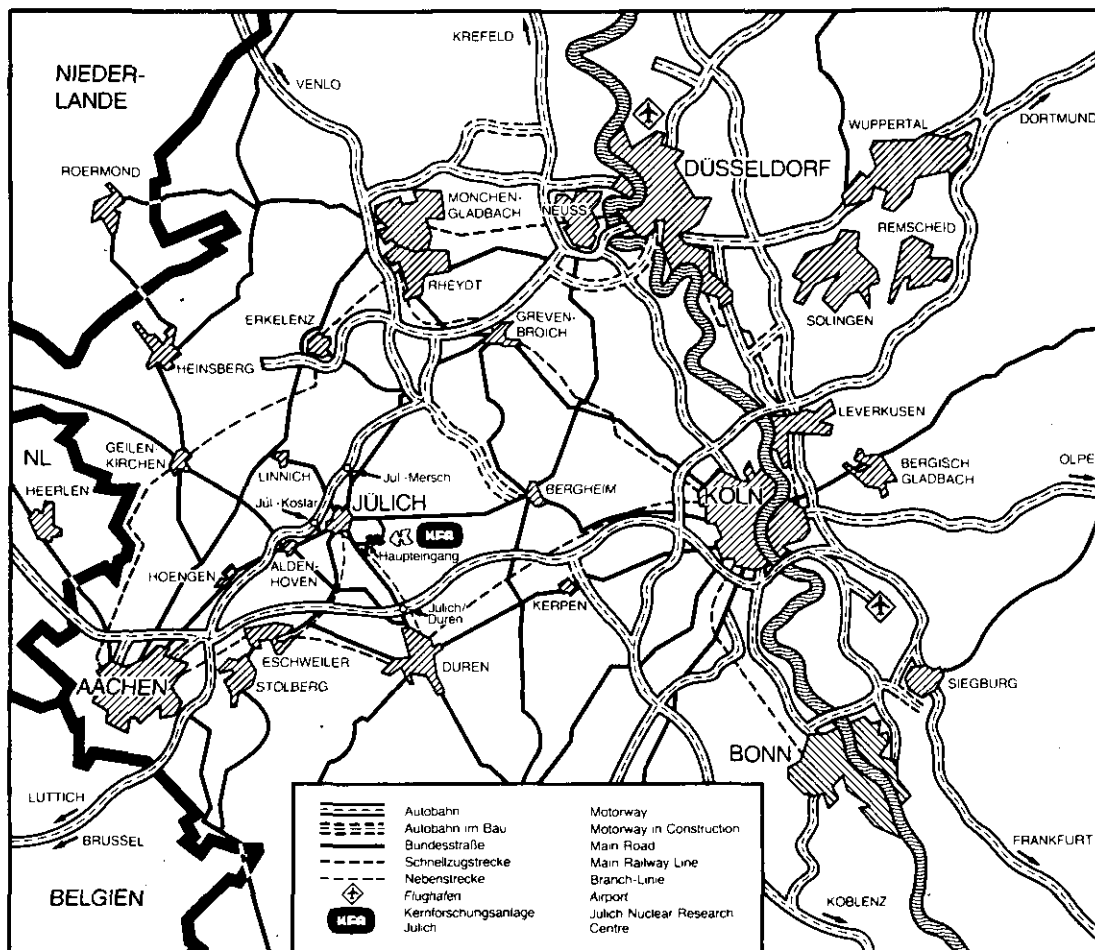
**MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung
in Bohrlöchern**

10. und 11. Dezember 1986
Kernforschungsanlage Jülich

herausgegeben von

E. Barnert

Jül - Conf - 60
Juli 1987
ISSN 0344-5798



Als Manuskript gedruckt

Berichte der Kernforschungsanlage Jülich Jül - Conf - 60

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)

Telefon: 02461/610 · Telex: 833556-0 kf d

1. Statusbericht

MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern

10. und 11. Dezember 1986
Kernforschungsanlage Jülich

herausgegeben von

E. Barnert

Veranstaltet von :
Institut für Chemische Technologie
der Nuklearen Entsorgung

The Kernforschungsanlage Jülich, KFA, (Nuclear Research Center Jülich) has been handling a project since 1983 on „Further Development of the Borehole Technology for the Disposal of Radioactive Wastes in Salt, with the Examples of Dissolver Sludge, Fuel Element Claddings, Fuel Hardware and HTR Fuel Elements“. The project is sponsored by the Bundesminister für Forschung und Technologie, BMFT, (Federal Ministry of Research and Technology) under the identification number KWA 5302 3 and bears the short title **„MAW and HTR Fuel Element Test Disposal in Boreholes“**.

The major objective of the project is to develop a technique for the disposal of the above-mentioned wastes in unlined boreholes in salt and to test this technique in the Asse salt mine.

The **Institut für Chemische Technologie der Nuklearen Entsorgung, ICT**, (Institute of Chemical Technology) at the KFA is responsible for the scientific and organizational management of the project.

The Institut für Tief Lagerung, IfT, (Institute for Underground Disposal) of the Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, GSF, (Company for Radiological and Environmental Research) is responsible for the geomechanical and mining activities in the project. It supervises the in-situ experiments, and as the owner of the Asse salt mine, it submits applications for the experiments to the licensing authorities.

Geomechanical calculations are being carried out by the Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR, (Federal Institute for Geological Science and Natural Resources).

The .Physikalisch-Technische Bundesanstalt, PTB, (Physical-Technical Federal Institution), the Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH, DWK, (German Company for the Reprocessing of Used Nuclear Fuel) and the Projekt Hochtemperaturreaktor-Brennstoffkreislauf, HBK, (HTR Fuel Cycle Project) are acting as consultants to the project management and ensure that the boundary conditions of the waste producers and the waste disposer (Gorleben plan) are taken into consideration.

The Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe, DBE, (German Company for the Construction and Operation of Final Repositories) and other companies are involved as subcontractors in the field of conceptual design, component development and manufacturing.

In der Kernforschungsanlage Jülich (KFA) wird seit 1983 an einem Vorhaben zur „Weiterentwicklung der Bohrlochtechnologie für die Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salz am Beispiel von Feedklärschlamm, Brennelementhülsen, Strukturteilen und HTR-Brennelementen“ gearbeitet. Das Projekt wird vom Bundesminister für Forschung und Technologie unter dem Kennzeichen KWA 5302 3 gefördert und trägt den Kurztitel **„MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern“**.

Gesamtziel des Vorhabens ist die Entwicklung geeigneter Methoden für die Endlagerung der genannten Abfälle in Bohrlöchern im Salz und deren Erprobung in der Schachthanlage Asse.

Die wissenschaftliche und organisatorische Leitung des Projekts liegt beim **Institut für Chemische Technologie der Nuklearen Entsorgung (ICT)** der KFA Jülich.

Das Institut für Tief Lagerung (IfT) der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH (GSF) ist für die geomechanischen und bergmännischen Arbeiten im Projekt zuständig, es betreut den in-situ-Versuch vor Ort und ist als Eigner der Schachthanlage Asse Antragsteller für den in-situ-Versuch gegenüber den Genehmigungsbehörden.

Geomechanische Rechnungen werden von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) durchgeführt.

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), die Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen (DWK) sowie das Projekt Hochtemperaturreaktor-Brennstoffkreislauf (HBK) beraten die Projektleitung und tragen dafür Sorge, daß die Randbedingungen der Abfallverursacher und des Abfallbeseitigers (Gorlebenplanung) berücksichtigt werden.

Die Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe (DBE) und andere Fachfirmen sind als Unterauftragnehmer im Bereich Konzeptfindung, Komponentenentwicklung und Komponentenfertigung tätig.

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

Randbedingungen, Zielsetzung und Organisation
des Projektes "MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung
in Bohrlöchern"

H. Brücher 1

Einlagerungs- und Bohrlochverschlußtechnik

E. Barnert 15

Charakterisierung der MAW- und HTR-BE-Abfallgebinde
für den rückholbaren Einlagerversuch

K. Kroth 31

Versuchsaufbau zur Messung flüchtiger Radionuklide
und Radiolysegase

H.-G. Götze 55

Untersuchungen zur Freisetzung flüchtiger Radionuklide
und Radiolysegase

- Erste Meßergebnisse -

K. Kroth 69

Radiolysegasproduktion in homogen zementiertem Feed-
klärschlamm

P. Offermann 83

Vorläufige Ergebnisse ingenieurgeologischer Spezial-
kartierungen 1:200 und 1:100 im Aufschluß des MAW-
Feldes der KFA Jülich auf der 800-m-Sohle des Endlager-
versuchsbergwerks Asse II bei Remlingen, SE-Nieder-
sachsen.

H. Bottke

M. Olfers 99

	Seite
Auslegungsrechnungen zum MAW-Einlagerungsversuch in der Schachtanlage Asse <i>H.-K. Nipp</i>	103
Geotechnische Untersuchungen im MAW-Einlagerungs- versuchsfeld des Salzbergwerks Asse <i>M. W. Schmidt</i> <i>K. Wieczorek</i> <i>Th. Meyer</i>	115
Maschinentechnik, Handhabung und Bohrlochvorbereitung beim rückholbaren Einlagerversuch <i>D. Niephaus</i>	135
Erfassung und Verarbeitung der Meßdaten beim MAW- und HTR-BE-Einlagerversuch Teil I: Erfassung der Meßdaten mit Dataloggern <i>K. Kroth</i>	161
Teil II: Zentrale Komponenten der Datenerfassung in der Asse <i>R. Henze</i>	173
Kernmaterialüberwachung beim rückholbaren Einlager- versuch mit verbrauchten AVR-Brennelementen <i>R. Buttler</i>	187
Gebirgsmechanische Messungen in der AVR-Strecke des Salzbergwerks Asse <i>F. Kreutz</i>	201
Teilnehmerverzeichnis	221

Randbedingungen, Zielsetzung und Organisation
des Projekts
MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern

Heiner Brücher

Kernforschungsanlage Jülich GmbH
Institut für Chemische Technologie
der Nuklearen Entsorgung

Abb. 1: Schematische Darstellung eines Endlagers für radioaktive Abfälle in einem Salzstock

Die Technik zur Endlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung ist vorhanden und in der Schachtanlage Asse vielfach erprobt. Die entsprechende Entwicklung und Erprobung einer Technik zur Endlagerung wärmeentwickelnder Abfälle steht noch aus.

Zu diesem Zweck wird seit 1983 in der Kernforschungsanlage Jülich (KFA) ein Projekt zur "Weiterentwicklung der Bohrlochtechnologie für die Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salz am Beispiel von Feedklärschlamm, Brennelementhülsen, Strukturteilen und HTR-Brennelementen" bearbeitet. Das Projekt wird vom Bundesminister für Forschung und Technologie gefördert und unter dem Kurztitel "MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern" geführt.

ZIELSETZUNG UND RANDBEDINGUNGEN

Gesamtziel des Projekts ist die Entwicklung und Erprobung einer Technik für die Endlagerung der genannten radioaktiven Abfälle in unverrohrten Bohrlöchern im Salz.

Die Arbeiten sind in zwei Teilprojekte unterteilt (Abb. 2). Im Teilprojekt I "Einlagerungs-/Bohrlochverschlusstechnik" soll die Technik der Endlagerung von MAW- und HTR-BE-Gebinden in unverrohrten Bohrlöchern im Salz (die sog. MAW-Bohrlochtechnik)

MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern	
Zielsetzung des F + E-Vorhabens: Bereitstellung einer Technik für die Endlagerung von zementiertem Feedklärschlamm, Brennelementhülsen und Brennelementstrukturteilen sowie von verbrauchten HTR-Brennelementen in unverrohrten Bohrlöchern im Salz	
Teilvorhaben I: Einlagerungs-/Bohrlochverschlusstechnik <ul style="list-style-type: none"> ● Komponentenentwicklung für Endlager ● Sicherheitstechnische Nachweise ● Kalterprobung mit prototypischen Komponenten in Asse 	Teilvorhaben II: Rückholbarer Einlagerversuch <ul style="list-style-type: none"> ● Charakterisierung der Versuchsgebinde ● Wechselwirkungen zwischen Salzgestein und Abfallgebinden ● Rückholbare Versuchseinlagerung mit echten Abfallgebinden in Asse

Abb. 2: Zielsetzung und Organisation des Projekts

entwickelt werden. Die Randbedingungen sind durch den großtechnischen Einsatz dieser Technik im geplanten Endlager Gorleben vorgegeben. Die prototypischen Komponenten werden im Rahmen eines Kaltversuchs (d.h. ohne radioaktive Abfallgebinde) unter möglichst endlagerrelevanten Bergwerksbedingungen getestet.

Im Mittelpunkt von Teilprojekt II "Rückholbarer Einlagerversuch" steht der experimentelle Nachweis der sicheren untertägigen Handhabbarkeit von MAW- und HTR-BE-Abfallgebinden und die Demonstration der Bohrlocheinlagertechnik im Rahmen eines in situ-Versuchs mit echten Abfallgebinden. Die Abfälle müssen nach Versuchsende aus dem Bergwerk entfernt werden. Die Randbedingungen für die rückholbare Versuchseinlagerung sind durch die zur Verfügung stehenden Versuchsgebinde, durch den Versuchsort und durch die genehmigungsrechtliche Forderung nach Rückholung der Versuchsgebinde vorgegeben. Dies führt dazu, daß auf den Einsatz der endlager-prototypischen Komponenten aus Teilprojekt I bei der Versuchseinlagerung der echten Abfallgebinde verzichtet wird.

Außerdem werden im Teilprojekt II mögliche Gasfreisetzungen aus den Abfallgebinden untersucht. Die Ergebnisse fließen in die Auslegung der prototypischen Komponenten in Teilprojekt I ein.

Für die in situ-Versuche werden zwei Versuchsstrecken BV (für inaktive Komponententests zur Einlagerungs- und Bohrlochverschlußtechnik) und EV (für den rückholbaren Einlagerversuch mit echten Abfallgebinden) auf der 800-m-Sohle der Schachanlage Asse in der Nähe des HAW-Versuchsfeldes zur Verfügung gestellt (Abb. 3).

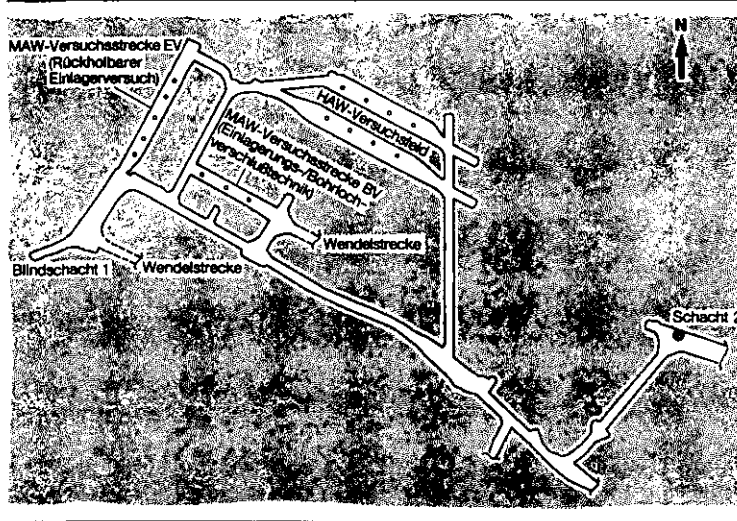


Abb. 3: MAW-Versuchsstrecken auf der 800-m-Sohle der Schachtanlage Asse

Die wissenschaftliche und organisatorische Leitung des Gesamtprojekts liegt beim Institut für Chemische Technologie der Nuklearen Entsorgung (ICT) der KFA.

Das Institut für Tieflagerung (IfT) der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH (GSF) ist für die geomechanischen und bergmännischen Arbeiten im Projekt zuständig, es betreut die in situ-Versuche vor Ort und ist als Eigner der Schachtanlage Asse Antragsteller für die Versuche gegenüber der Genehmigungsbehörde.

Geomechanische Rechnungen werden von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) durchgeführt.

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), die Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen (DWK) sowie das Projekt Hochtemperaturreaktor-Brennstoffkreislauf (HBK) beraten die Projektleitung und tragen dafür Sorge, daß die Randbedingungen der Abfallverursacher und des Abfallbeseitigers (Gorlebenplanung) berücksichtigt werden.

Die Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe (DBE) und andere Fachfirmen sind als Unterauftragnehmer im Bereich Konzeptfindung, Komponentenentwicklung und Komponentenfertigung tätig. Spezielle Probleme werden mit anderen Großforschungseinrichtungen bearbeitet.

ARBEITSPROGRAMM

Einlagerungs-/Bohrlochverschlußtechnik

In Abstimmung mit der PTB werden die prototypischen Komponenten für die Endlagerung von wärmeentwickelndem MAW und HTR-BE in Bohrlöchern und für den Verschluß dieser Bohrlöcher entwickelt, gefertigt und im Rahmen eines inaktiven in situ-Versuchs in der Asse getestet. Die Randbedingungen werden durch den Einsatz dieser Technik im geplanten Endlager Gorleben gesetzt. Eine möglichst weitgehende Vereinheitlichung dieser MAW-Bohrlochtechnik mit der von der GSF zu entwickelnden HAW-Bohrlochtechnik wird angestrebt.

Unter MAW-Bohrlochtechnik wird das komplette System zur Einlagerung und zum sicheren Einschluß von 400-l-Gebinden in vertikalen unverrohrten Bohrlöchern verstanden (Abb. 4). Die Einlagertechnik umfaßt alle Komponenten bzw. Maßnahmen, die zur Befüllung eines Bohrlochs eingesetzt bzw. ergriffen werden. Schnittstelle für die Projektarbeiten ist derzeit der Einlagerort; die übertägige Handhabung der Abfallgebinde und der Transport bis zum Bohrloch werden demzufolge nicht untersucht. Die Abfallgebinde werden von einem Streckentransportfahrzeug im Einzelabschirmbehälter auf dem Bohrlochschieber abgesetzt. Die Einlagerungsmaschine übernimmt das Absenken der Gebinde und aller weiteren Komponenten in das Bohrloch. Stapelkräfte werden durch Stützelemente und/oder Ringspaltversatz in die Bohrlochwand eingeleitet.

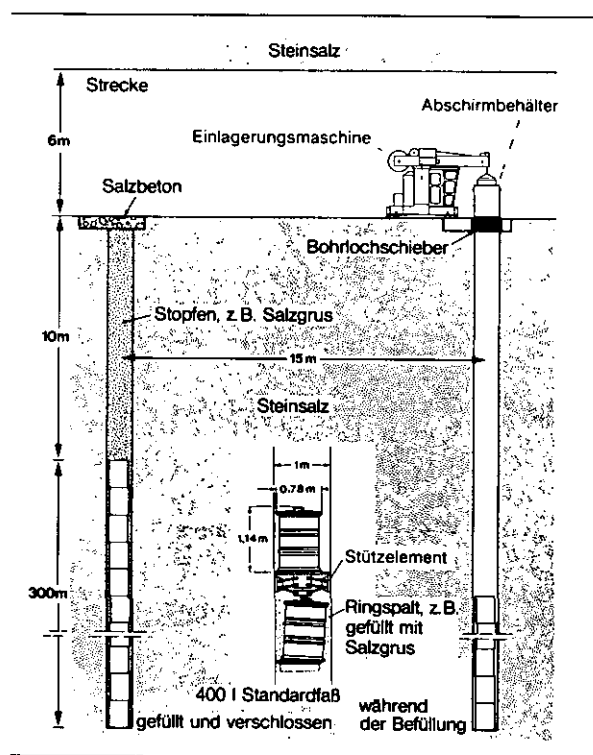


Abb. 4: MAW-Bohrlochtechnik für die Endlagerung von MAW und HTR-BE in unverrohrten vertikalen Bohrlöchern

Die Verschlusstechnik beinhaltet alle Komponenten bzw. Maßnahmen, die zum Verschließen eines mit Abfallgebinden gefüllten Bohrlochs eingesetzt bzw. ergriffen werden. Das gefüllte Bohrloch wird durch einen Stopfen, dessen Hauptkomponente Salzgrus ist, verschlossen und durch eine Salzbetonplatte abgedeckt. Durch dieses Verschlusssystem werden die Freisetzungsraten von Gasen in die Einlagerstrecke soweit reduziert, daß eine unzulässige Gefährdung von Betriebspersonal und Umgebung vermieden wird.

Endlager- und Reaktorbetreiber haben sich dahingehend geeinigt, daß für die Beseitigung verbrauchter HTR-Brennelemente die direkte Endlagerung in vertikalen Bohrlöchern anzustreben ist. Dadurch können die besonderen Rückhalteeigenschaften der graphitischen HTR-BE genutzt und die Entwicklungen der Bohrlochtechnik übernommen werden. Dies bedeutet, daß verbrauchte

HTR-BE in MAW-ähnlichen Gebinden (Hauptabmessungen, Anschlagmittel) am Endlager anzuliefern sind.

Der inaktive in situ-Versuch wird in der Versuchsstrecke BV (vgl. Abb.3) durchgeführt. In die Streckensohle werden drei vertikale Bohrlöcher mit einem Durchmesser von 1 m, einer Tiefe zwischen 10 und ca. 50 m und einem Achsabstand von 15 m niedergebracht. Am Bohrloch V1 wird die Gasdurchlässigkeit des prototypischen Bohrlochstopfens bei einem endlagerrelevanten Temperaturniveau untersucht. Dazu werden Testgase in den Bodenbereich des Stopfens injiziert, ihre Ausbreitung wird mit Meßsonden überwacht. Bohrloch V2 ist für Kontrollmessungen vorgesehen. Am Bohrloch V3, mit einer Tiefe von bis zu ca. 50 m, wird die großtechnische Machbarkeit der Einlagerungs- und Bohrlochverschlußtechnik unter geolebentypischen Randbedingungen demonstriert. Eine entsprechende Anzahl zementierter 400-l-Fässer ohne radioaktiven Abfall wird mittels prototypischer Komponenten eingelagert, anschließend wird der endlagergerechte Verschlußstopfen eingebracht.

Rückholbarer Einlagererversuch

Im Rahmen eines mehrjährigen Einlagererversuchs wird unter realen Bergwerksbedingungen und mit echten radioaktiven Abfällen gezeigt, daß der wärmeentwickelnde Abfall untertage gehandhabt und in Bohrlöcher eingelagert werden kann, und daß diese Lagerbohrlöcher unter Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen sicher betrieben werden können. Nach Versuchsende werden die Abfälle wieder aus dem Bergwerk entfernt. Für die Handhabung der Gebinde wird soweit als möglich auf bekannte Komponenten zurückgegriffen.

Im Einlagererversuch werden MAW-Abfallgebände aus der Aufarbeitung von hochabgebranntem GKN-Brennstoff in der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) eingesetzt. Zwei Gebände mit Brennelementhülsen, ein Gebände mit Brennelementstrukturen und drei Gebände mit Feedklärschlamm stehen zur Verfügung. Die Abfälle sind in Einsatzbehältern zementiert, die

in 200-l-Rollsickenfässern mit Winkelringdeckel stehen. Sie sind mit Widerstandsthermometern zur Temperaturbestimmung ausgerüstet.

Außerdem kommen vier Trockenlagerkannen mit je 950 Brennelementen aus dem Jülicher AVR-Hochtemperaturreaktor zum Einsatz.

Die 200-l-MAW-Fässer und die AVR-Trockenlagerkannen sind die derzeit verfügbaren Gebindearten. Bezüglich Geometrie, Inhalt und Fixierungsart weichen sie mehr oder weniger stark von den für die Endlagerung vorgesehenen Abfallgebinden ab. Bei der Übertragung von Ergebnissen aus dem Einlagerversuch auf die Endlagerung sind diese Unterschiede zu berücksichtigen.

Der aktive in situ-Einlagerversuch wird in der etwa 80 m langen Versuchsstrecke EV durchgeführt (Abb. 5). Fünf Lagerbohrlöcher mit einem Durchmesser von 1 m und einer Tiefe von 10 m werden in die Streckensohle niedergebracht. In die drei zentralen Bohrlöcher werden die Abfallgebinde rückholbar eingelagert. Sie stehen dabei in einem offenen Korbgestell, das sich seitlich und am Boden des Bohrlochs abstützt und die für die Rückholung erforderliche Führung und Positionierung der Gebinde gewährleistet. Der Ringspalt zwischen Korbgestell und unverrohrter Bohrlochwand wird überwacht. Er ist so dimensioniert, daß sein Zuwachsen durch Gebirgskonvergenz während der maximal fünfjährigen Versuchsdauer praktisch ausgeschlossen werden kann. Durch eine elektrische Zusatzheizung wird ein endlagerrelevantes Temperaturniveau von etwa 60 °C an der Bohrlochwand erzeugt, wobei die Zentraltemperatur in den Gebinden 90°C nicht überschreiten darf. Die aktiven Bohrlöcher sind mit einem Bohrlochschieber verschlossen. Die Bohrlochatmosfera wird auf Temperatur, Feuchte, Gaszusammensetzung und radioaktive Gasbestandteile (Wasserstoff, H-3, Kr-85) hin untersucht.

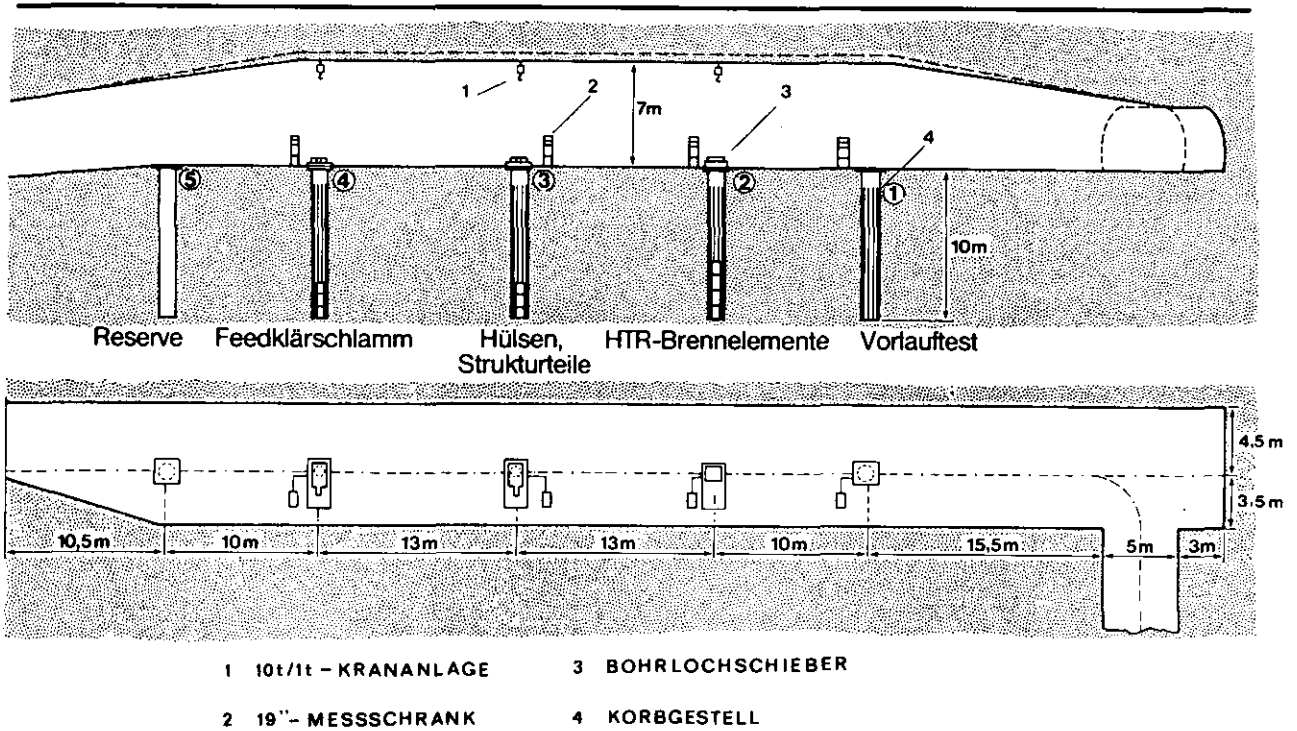


Abb. 5: Ausrüstung der MAW-Versuchsstrecke EV für den rückholbaren Einlagererversuch

In einem inaktiven, voll instrumentierten Bohrloch (Vorlaufest) werden die Funktion der sicherheitsrelevanten Einrichtungen und das Konvergenzverhalten des Gebirges versuchsbegleitend und mit einem zeitlichen Vorlauf von etwa einem Jahr vor der Inbetriebnahme der aktiven Bohrlöcher überprüft. Ein zusätzliches Bohrloch wird in Reserve gehalten; an ihm werden geomechanische Kontrollmessungen vorgenommen. Der Lagerversuch wird außerdem durch ein umfangreiches geomechanisches Meßprogramm und eine ingenieurgeologische Kartierung im Umfeld der Lagerbohrungen und der Versuchsstrecke ergänzt.

Für die rückholbare Versuchseinlagerung der vier Trockenlagerkannen mit AVR-Brennelementen muß in Abstimmung mit Euratom ein Safeguardskonzept erarbeitet werden.

Aus den zementierten Abfallfässern mit Feedklärschlamm, Hülssen und Strukturteilen können möglicherweise geringe Mengen radioaktiver Gase (Kr-85; H-3) sowie radiolytisch erzeugter Wasserstoff entweichen. Die Beherrschung dieser Gase ist für die Auslegung des rückholbaren Einlagererversuchs, aber auch für den Betrieb des Endlagers Gorleben von Bedeutung.

Zur quantitativen Bestimmung dieser temperaturabhängigen Gasfreisetzung werden die für den Einlagererversuch vorgesehenen sechs MAW-Gebinde in den Heißen Zellen der KFA untersucht (Abb. 6). Entsprechende Ergebnisse für die Trockenlagerkannen mit AVR-Brennelementen liegen vor. Die mit Temperaturmeßfühlern versehenen Einsatztrommeln der Abfallgebände werden in gasdichten Meßbehältern verschlossen. Die Meßbehälter sind mit einer außenliegenden elektrischen Zusatzheizung versehen, mit der ein Temperaturprogramm bis maximal 90°C gefahren werden kann.

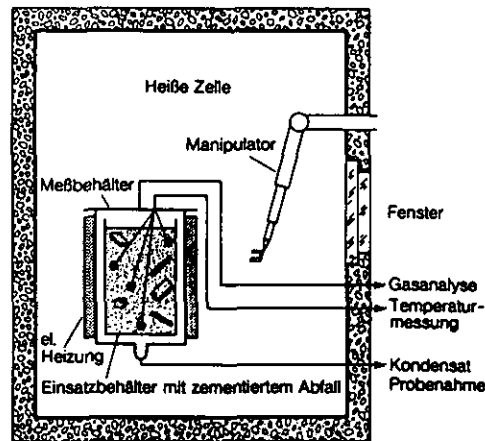


Abb. 6: Heißzellenexperiment zur Bestimmung der Gasfreisetzung aus zementierten MAW-Gebinden

Die Übertragung der Versuchsdaten auf die für Gorleben geplanten Endlagergebinde erfolgt im Rahmen einer Zusammenarbeit mit dem Hahn-Meitner-Institut (HMI).

STAND DER ARBEITEN UND TERMINPLANUNG

Aus der Terminplanung der FTB für das Endlager in Gorleben mit Auslegung des Plans im Jahr 1992 ergibt sich, daß die wesentlichen Erkenntnisse aus dem hier vorgestellten Projekt im Jahr 1990 vorliegen müssen. Der Rahmenterminplan (Abb. 7) berücksichtigt diese Vorgabe.

Im Teilprojekt I ist die Konzeptentwicklung in ihre entscheidende Phase getreten und soll bis Mitte 1987 in wesentlichen Teilen abgeschlossen sein. Die Versuchsstrecke BV in der Asse ist aufgefahren. Mit ersten Komponententests ist im Jahre 1988 zu rechnen.

Im Teilprojekt II sind die Komponenten zur über- und untertägigen Handhabung entwickelt und teilweise gefertigt. Das Heißzellen-

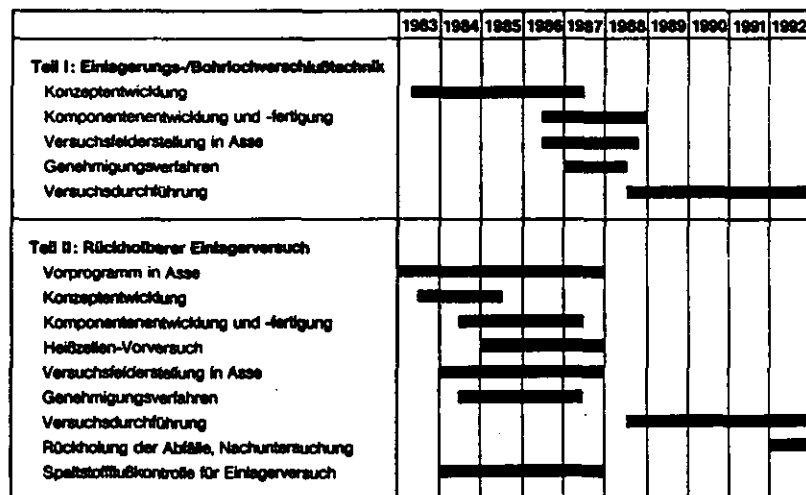


Abb. 7: Rahmenterminplan für das Projekt "MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern"

experiment zur Vorcharakterisierung der MAW-Gebinde ist in Betrieb und liefert erste Meßergebnisse. Die Versuchsstrecke EV in der Asse ist aufgefahren und wird für den Versuch ausgerüstet. Mit dem Start des aktiven in situ-Versuchs wird nach derzeitigem Planungsstand für die zweite Hälfte des Jahres 1988 gerechnet.

PERSONAL- UND MITTELEINSATZ

Die benötigten Mittel werden vom BMFT im Rahmen einer Sonderfinanzierung bereitgestellt. Dazu ist das Projekt in dreijährige Phasen unterteilt. In der jetzt laufenden Projektphase II beläuft sich der bewilligte Aufwand auf 300 Mannmonate und etwa 11 Mio DM für Investitionen und Fremdleistungen (Abb. 8). Der tatsächlich Mittelabfluß hängt vom Arbeitsfortschritt ab.

Projektphase I:	1983 - 1985 Personaleinsatz Miteinsatz	180 MM 2.250 TDM
Projektphase II:	1986 - 1988 Personaleinsatz Miteinsatz	300 MM 11.220 TDM
Projektphase III. IV:	1989 - 1993 Personaleinsatz Miteinsatz	ca. 4 MJ pro Jahr ca. 5.000 TDM
Geschätzter Gesamtaufwand für 10 Jahre Laufzeit		ca. 30 Mio DM

Abb. 8: Personal- und Miteinsatz für das Projekt "MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern"

Für die folgenden Projektphasen III und IV wird mit einem gegenüber der laufenden Phase reduzierten Aufwand gerechnet. Der geschätzte sonderfinanzierte Gesamtaufwand (Personal- plus Miteinsatz) für die zehnjährige Laufzeit des Projekts liegt bei etwa 30 Mio DM. Dazu kommen in begrenztem Umfang KFA-eigene Aufwendungen aus zwei endlagerrelevanten FE-Vorhaben.

EINLAGERUNGS- UND BOHRLOCHVERSCHLUSSTECHNIK

Eike Barnert

Kernforschungsanlage Jülich GmbH
Institut für Chemische Technologie
der Nuklearen Entsorgung

Bild 1

Wie bereits im vorigen Vortrag erwähnt wurde, ist das Projekt "MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern" in zwei Teilvorhaben unterteilt. Das Teilvorhaben I ist die "Einlagerungs- und Bohrlochverschlußtechnik". Teilvorhaben II hat den Titel "Rückholbarer Einlagerversuch".

Thema dieses Vortrages ist das Teilvorhaben I. In diesem Vorhaben werden Technik und Komponenten für die Endlagerung der MAW- und HTR-BE-Abfallgebinde in unverrohrten Bohrlöchern im Salz (die sog. MAW-Bohrlochtechnik) entwickelt. Die Randbedingungen hierfür sind durch den großtechnischen Einsatz dieser Technik im geplanten Endlager gegeben. Die prototypischen Komponenten werden im Rahmen eines in situ-Versuches (Kaltversuch) mit nicht radioaktiven Abfallgebinden im Salzbergwerk ASSE getestet.

Bild 2

In der Abbildung 2 ist die Einlagerungs- und Bohrlochverschlußtechnik vereinfacht dargestellt.

Des besseren Verständnisses wegen sei, bevor weiter auf diese Abbildung eingegangen wird, folgendes ausgeführt.

Die 400-l-Abfallgebinde werden die Strecke vom Abfallhersteller bis zum Endlager entweder in Sammel- oder in Einzeltransportbehältern transportiert werden. Wie dem auch sein mag, untertage erfolgt der Transport der Gebinde bis zum Eingang der Einlagerungsstrecke in Einzeltransportbehältern.

Am Streckeneingang wird der Behälter von z.B. einem Hubtransportwagen aufgenommen und auf dem Bohrlochschieber des zur Befüllung vorgesehenen Bohrloches abgesetzt.

Genau hier ist die Schnittstelle für das vorzustellende Projekt, d.h. wir gehen bei unseren weiteren Betrachtungen davon aus, daß der Einzeltransport- oder Einzelabschirmbehälter mit dem 400-l-Abfallgebinde auf dem Bohrlochschieber positioniert ist. Die Frage, wie er dorthin transportiert wird, ist derzeit nicht Gegenstand von Betrachtungen in diesem Projekt.

Auf der Abbildung 2 (rechte Seite der Abbildung) ist ein etwa 310 m tiefes Bohrloch während der Befüllungsphase gezeigt. Das Loch hat einen Durchmesser von etwa einem Meter. Zur Strecke hin ist es mit einem Bohrlochschieber verschlossen.

Auf dem Bohrlochschieber ist, z.B. mit einem Hubtransportwagen, der Abschirmbehälter, in dem sich das 400-l-Gebinde befindet, abgesetzt worden. Alle weiteren Arbeitsschritte übernimmt die Einlagerungsmaschine.

Über ein Koppelsystem wird der Gebindegreifer im Abschirmbehälter betätigt. Nachdem der Bodenschieber des Einzelabschirmbehälters und der Bohrlochschieber gemeinsam geöffnet wurden, wird das Gebinde kontrolliert in das Bohrloch abgelassen. Nach Aufsetzen des Gebindes kann der Greifer gelöst und wieder nach oben in den Einzelabschirmbehälter hineingezogen werden. Er wird dort verriegelt und verbleibt im Abschirmbehälter. Der Bodenschieber des Behälters und der Bohrlochschieber werden gemeinsam geschlossen. Das Förderseil wird abgekoppelt. Der leere Abschirmbehälter kann entfernt und ein neuer Behälter mit Gebinde kann auf den Bohrlochschieber aufgesetzt werden, um den Einlagervorgang zu wiederholen.

Bei der Stapelung der Abfallgebinde hat das unterste Gebinde die auf ihm ruhende Gebindesäule zu tragen. Um ein Zerstören von Gebinden während der Befüllungsphase des Bohrloches zu vermeiden, wird an eine Ableitung der Stapelkräfte in die Bohrlochwand gedacht. In der Abbildung 2 sind zwei dieser Möglichkeiten dargestellt.

Gezeigt ist z.B. ein Stützelement, das nach einer bestimmten Anzahl von Gebinden in das Bohrloch hinabgelassen wird, sich dort durch eine sinnvolle Mechanik an der Bohrlochwand abstützt und so die auf ihm stehende Gebindesäule trägt.

Eine weitere Möglichkeit zur Lastableitung ergibt sich mit der Verfüllung des Ringspalt zwischen Gebinde und Bohrlochwand z.B. mit Salzgrus. Die Krafteinleitung in die Bohrlochwand erfolgt dabei über die Reibungskräfte im Grus.

Gleichzeitig mit der Lastableitung wird durch die Ringspaltverfüllung eine Konvektion im Bohrloch im Bereich der Verfüllung unterdrückt.

Zusätzliche Möglichkeiten der Ableitung der Stapelkräfte ergeben sich aus der Kombination von Stützelement und Ringspaltverfüllung bzw. aus bestimmten Varianten der Ringspaltverfüllung. Ein Beispiel hierfür ist die überdeckende Verfüllung. Dabei wird über eine ringspaltverfüllte Säule von Gebinden eine überdeckende Verfüllung, d.h. praktisch ein Pfropfen z.B. aus Salzgrus eingebracht, auf dem dann die nächste überdeckt verfüllte Gebindesäule zu stehen kommt. Die Lastableitung erfolgt hierbei über die Ringspaltverfüllung und über den Stopfen.

Das Bohrloch wird bis etwa 10 m unter Streckensohle mit Abfallgebinden gefüllt. Die restlichen 10 m nehmen den Bohrlochstopfen auf (linke Seite der Abbildung 2). Der Bohrlochstopfen dient

- der Abschirmung der Direktstrahlung aus dem Bohrloch sowie
- der Rückhaltung von Gasen während der Betriebszeit der Strecke.

Als Bohrlochstopfen sind zwei Varianten erarbeitet worden, die in den Abbildungen 3 und 4 gezeigt sind. Die in diesen

Abbildungen angegebenen Maße sind Planungswerte und sind entsprechend des Planungsfortschrittes anzupassen.

Bild 3

Die Stopfenvariante I zeichnet sich durch eine geringe Anfangsdichte aus.

Setzt man voraus, daß der Ringspalt zwischen den Gebinden und der Bohrlochwand nicht verfüllt ist, werden als Fundament für den Stopfen ein Stützelement, das den Stopfen trägt und eine Dichtplatte benötigt, die das Wegrieseln des Salzgruses verhindert.

Der Stopfen besteht hauptsächlich aus Salzgrus. Durch den Bohrlochschieber, der das Bohrloch noch abdeckt, wird mittels des Versatzbehälters (Bild 9) soviel Salzgrus in das Bohrloch eingebracht, daß ein etwa 3 m hoher Stopfenabschnitt entsteht. Diese 3 m Salzgrus bilden eine erste Abschirmung gegen die Direktstrahlung aus dem Bohrloch. Jetzt kann der Schieber entfernt und der Rest des Bohrloches in konventioneller Weise mit Salzgrus bzw. mit Salzbeton verfüllt werden.

Bild 4

Die Stopfenvariante II ist ein Stopfen mit hoher Anfangsdichte

Die ersten 3 m des Stopfens bestehen wieder aus Salzgrus, der mit Hilfe des Versatzbehälters eingebracht wird. Auf diese Salzgrusschicht werden in konventioneller Weise, nachdem der Bohrlochschieber entfernt worden ist, vorgefertigte Salzzylinder übereinander gestapelt. Der dann noch verbleibende Hohlraum wird bis zur Streckensohle mit Salzbeton verfüllt.

Die hier gezeigte Kombination von Ringspaltverfüllung und Salzgrusschicht stellt praktisch die oben bereits erwähnte überdeckende Ringspaltverfüllung dar.

Zu welcher der beiden beschriebenen Varianten der in einem Endlager einzusetzende Stopfen tendieren wird, wird sich unter Berücksichtigung relevanter Randbedingungen mit fortschreitender Planung ergeben.

Bild 5

Die Abbildung 5 zeigt den Entwurf einer Einlagerungsmaschine, mit der die Abfallgebinde in das Bohrloch abgesenkt werden. Außerdem dient die Einlagerungsmaschine dem Einbringen und Positionieren z.B. des Versatzes bzw. der Komponenten wie Stützelement und Dichtplatte.

Die Einlagerungsmaschine ist für den Rangierbetrieb mit einem eigenen Fahrtrieb ausgerüstet. Die Energiezufuhr für den Elektromotor erfolgt über ein Kabel. Auf einer zentralen Säule ist ein Ausleger mit Hubwerk angeordnet. Der Ausleger besitzt einen Schwenkbereich von 180° . Die Abschirmglocke wird beim Einlagervorgang auf den Abschirmbehälter abgesenkt. Abstützungen sorgen für einen sicheren Stand während des Einlagervorganges.

Die Einlagerungsmaschine hat folgende Funktionen zu erfüllen:

- Positionieren des Auslegers
- Positionieren der Abschirmglocke
- Steuerung des Faßgreifers
- Steuerung des Bohrlochschiebers
- Absenken der Gebinde
- Datenmäßige Erfassung und Speicherung des Einlagervorganges.

Die gleichen Arbeitsschritte sind zum Einbringen des Stützelementes, der Dichtplatte oder des Versatzes erforderlich.

Bild 6

Der Einzelabschirmbehälter ist für den Transport und die Handhabung der 400-l-Gebinde konzipiert. Er ist so ausgelegt, daß die Oberflächendosisleistung aus Neutronen- und Gammastrahlung in einem Meter Abstand $D = 100 \mu\text{Sv/h}$ nicht überschreitet.

Der zylindrische Mantel und der Deckel des Behälters sind Stahlkonstruktionen mit Bleiauskleidung. Oben zentrisch im Deckel ist der Gebindegreifer installiert. Der Boden ist als Schieber ausgebildet, so daß der Behälter von der Bodenseite her be- und entladen werden kann. Der Bodenschieber ist durch eine Schiebersperre verriegelbar. Er besitzt keinen eigenen Antrieb, sondern kann nur in Verbindung mit z.B. dem Bohrlochschieber geöffnet werden.

Bild 7

Der Bohrlochschieber dient der Abdichtung des Bohrloches zur Strecke hin und der Abschirmung der Direktstrahlung während der Befüllung des Bohrloches.

Der Schieber wird in einen rechteckig ausgearbeiteten Keller in der Streckensohle eingesetzt. Über die Bohrlochzentrierung wird er zentriert. Am Kopf der Bohrlochzentrierung befindet sich eine Öffnung für die Bohrlochabsaugung.

Beim Aufsetzen des Einzelabschirmbehälters wird dieser auf dem Bohrlochschieber zentriert. Die Abschlußplatte wird nach unten auf den Plattenschieber gedrückt und Mitnehmerstangen greifen in entsprechende Öffnungen im Bodenschieber des Abschirmbehäl-

ters. Der Plattenschieber wird über einen Elektromotor angetrieben. Dabei nimmt er die Abschlußplatte und den Bodenschieber des Einzelabschirmbehälters mit, so daß alle drei Bauteile gleichzeitig bewegt werden. Wird der Einzelabschirmbehälter bei geschlossenen Schiebern abgenommen, fährt die Abschlußplatte wieder nach oben und wird verriegelt, so daß sie überfahren werden kann.

Bild 8

Das Stützelement soll die Stapelkräfte eines Gebindesäulenabschnittes in die Bohrlochwand einleiten.

Es wird am Pilzkopf mit dem Gebindegreifer gefaßt und mit der Einlagerungsmaschine aus einem speziellen Abschirmbehälter in das Bohrloch abgelassen. Kommt es mit der Aufsetzplatte z.B. auf dem Pilzkopf eines Gebindes auf, wird es durch sein Eigengewicht gespreizt, bis die Spannpratzen an der Bohrlochwand anliegen. Bei stärkerer Belastung durch aufgesetzte Gebinde wird die obere Platte weiter nach unten gedrückt und die Spannpratzen legen sich stärker an die Bohrlochwand an. Die Aufsetzplatte hebt vom unteren Gebinde ab, so daß eine vollständige Entkopplung von Stützelement und unterer Gebinde-säule erreicht wird.

Bild 9

Der Versatzbehälter wird benötigt, um den Ringspalt zwischen den Gebinden und der Bohrlochwand zu verfüllen und um den ersten Teil des Bohrlochstopfens zu erstellen.

Der Versatzbehälter besteht aus dem Behältermantel mit Aufsetzring und dem Austragboden mit Hubstange. Er wird in einem speziellen Abschirmbehälter hängend gehandhabt.

Der Behälter wird von oben mit Salzgrus gefüllt und mit der Einlagerungsmaschine an der Hubstange hängend in das Bohrloch hinabgelassen. Sobald der Aufsetzring auf einem Gebinde aufsetzt, wird der Austragboden nach unten abgesenkt und der Salzgrus rieselt durch die freiwerdenden Umfangsöffnungen des Behälters in den Ringspalt.

Bild 10

Im Rahmen eines in situ-Versuches im Salzbergwerk ASSE wird die hier geschilderte Einlagerungs- und Verschlusstechnik unter Verwendung aller erforderlichen Komponenten getestet werden.

Dazu steht in der ASSE auf der 800-m-Sohle eine etwa 50 m lange Versuchsstrecke BV zur Verfügung. In der Strecke ist das Niederbringen von drei Bohrungen vorgesehen.

Ein Bohrloch wird voraussichtlich 30 m bis 50 m tief gebohrt werden. Hier wird die Einlagerungstechnik, d.h. das Absenken der inaktiven Gebinde, das Einbringen des Versatzes bzw. der Stützelemente, die Handhabung des Bohrlochschiebers, der Behälter und der Einlagerungsmaschine getestet, d.h. alle für die Einlagerungstechnik benötigten Komponenten werden erprobt werden. Anschließend wird das Bohrloch mit einem ausgewählten Stopfen verschlossen.

Das zweite Bohrloch wird mindestens 10 m tief gebohrt werden. In dieses Bohrloch wird der Referenzstopfen eingebracht.

Mit entsprechender Instrumentierung beider Bohrlöcher sind Versuchsserien geplant, die z.B. Auskunft geben über Fragen wie

- wie groß ist die Gasdurchlässigkeit des Verschlusses,

- welchen Einfluß haben Parameter wie Zeit, Gasdruck, Temperatur oder Gebirgskonvergenz auf die Permeationsrate durch den Stopfen,
- wie groß ist die Permeationsrate im verfüllten Bohrloch,
- welche Stapelkräfte wirken auf die eingelagerten Gebinde und welche Kräfte führen zum Versagen der Gebinde usw.

Das dritte Bohrloch ist ein Reservebohrloch und steht z.B. für ergänzende geomechanische Messungen zur Verfügung.

Die Basis des hier Vorgetragenen ist eine Studie, die von der Deutschen Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE) im Auftrag der Kernforschungsanlage Jülich GmbH (KFA) im Rahmen des Vorhabens "MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern" erstellt wurde /1/. In Zusammenarbeit mit der Firma Dornier System (DS) wird nun das in der Studie vorgeschlagene Konzept unter Berücksichtigung möglichst aller relevanten Randbedingungen fort- und festgeschrieben werden.

Literaturverzeichnis

- /1/ Heidekorn
Entwicklung von Einlagerungs- und Verschlußkomponenten sowie Handhabungsabläufen zur Endlagerung von MAW-Gebinden in Bohrlöchern
DBE/T-S, Juli 1985

MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern	
Zielsetzung des F + E-Vorhabens: Bereitstellung einer Technik für die Endlagerung von zementiertem Feedklärschlamm, Brennelementhülsen und Brennelementstrukturteilen sowie von verbrauchten HTR-Brennelementen in unverrohrten Bohrlöchern im Salz	
Teilvorhaben I: Einlagerungs-/Bohrlochverschlußtechnik <ul style="list-style-type: none">● Komponentenentwicklung für Endlager● Sicherheitstechnische Nachweise● Kalterprobung mit prototypischen Komponenten in Asse	Teilvorhaben II: Rückholbarer Einlagerungsversuch <ul style="list-style-type: none">● Charakterisierung der Versuchsgebäude● Wechselwirkungen zwischen Salzgestein und Abfallgebinden● Rückholbare Versuchseinlagerung mit echten Abfallgebinden in Asse

Bild 1: Zielsetzung des F+E-Vorhabens
"MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern"

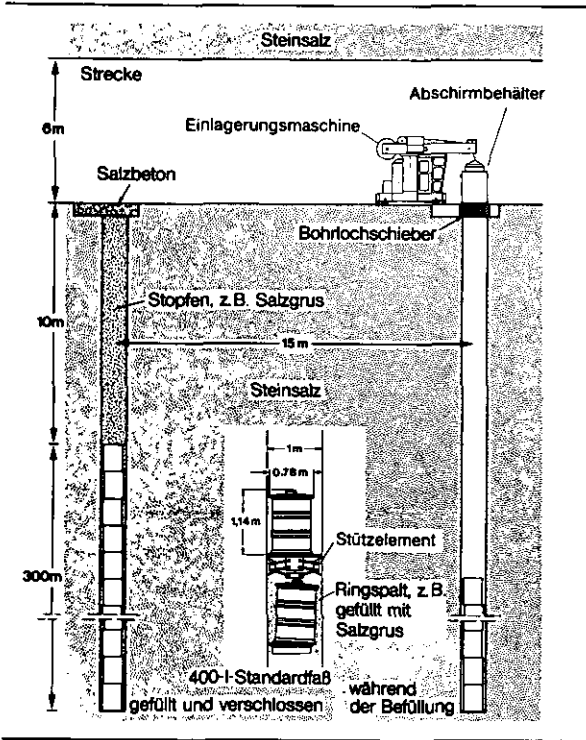


Bild 2: Einlagerungs- und Bohrlochverschlußtechnik

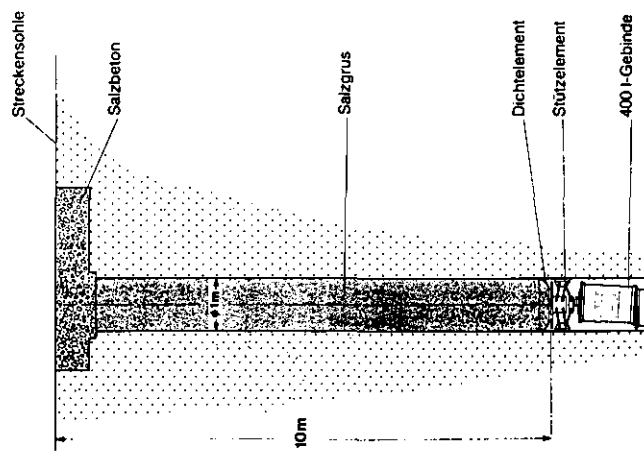


Bild 3: Bohrlochstopfen
(Prinzipieller Aufbau, Variante I)

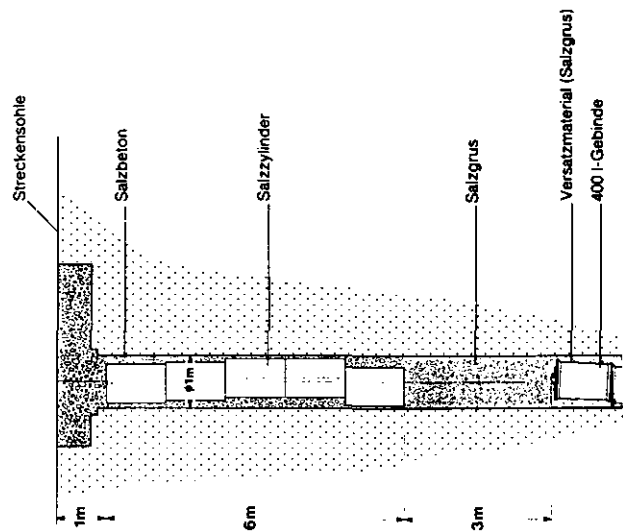
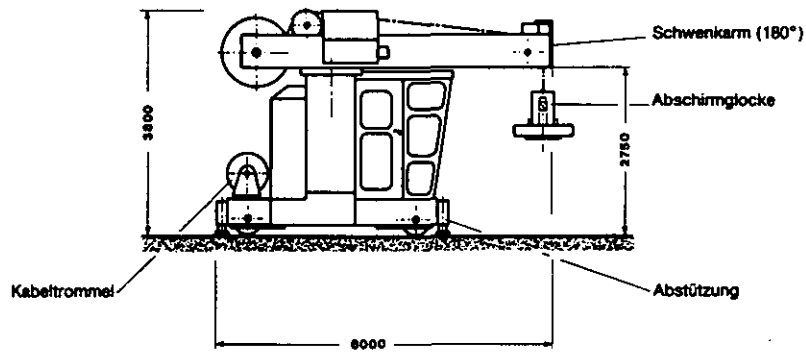


Bild 4: Bohrlochstopfen
(Prinzipieller Aufbau, Variante II)



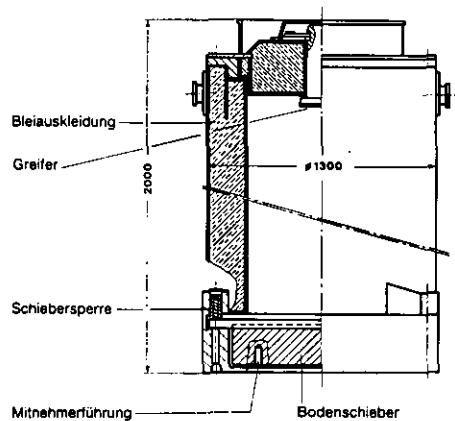
Funktionen

- Positionieren des Auslegers
- Positionieren der Abschirmglocke
- Betätigung des Faßgräfers
- Steuerung des Bohrlochschiebers
- Absenken des Fasses
- Datenmäßige Erfassung und Speicherung des Einlagervorganges

Technische Daten:

Länge	L	~ 6000 mm
Breite	B	~ 2000 mm
Höhe	H	~ 3800 mm
Wenderradius	R	~ 7000 mm
Eigengewicht	G	~ 130 kN
Fahrgeschwindigkeit	W	≤ 0,6 km/h
Hublast	G _h	≤ 27 kN
Absenkgeschwindigkeit	W _A	≤ 100 m/min.

Bild 5: Einlagerungsmaschine



Technische Daten:

Wanddicke	S	~ 240 mm
Behälterhöhe	H	~ 2000 mm
Behälterdurchmesser	D	~ 1300 mm
Behältergewicht	G	~ 150 kN

$$\dot{D} (1 \text{ m}) \leq 100 \mu \text{ Sv/h}$$

Bild 6: Einzelabschirmbehälter

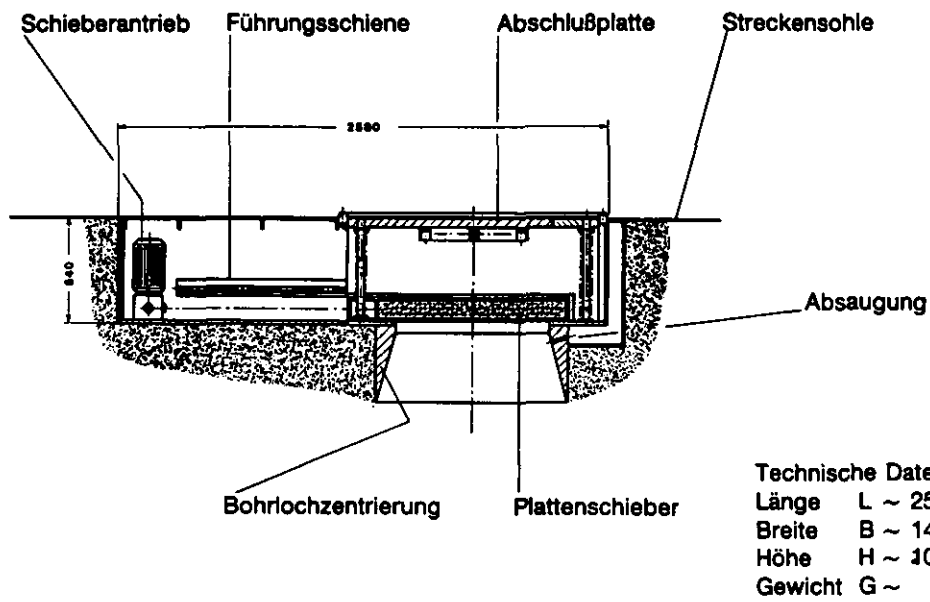


Bild 7: Bohrlochschieber

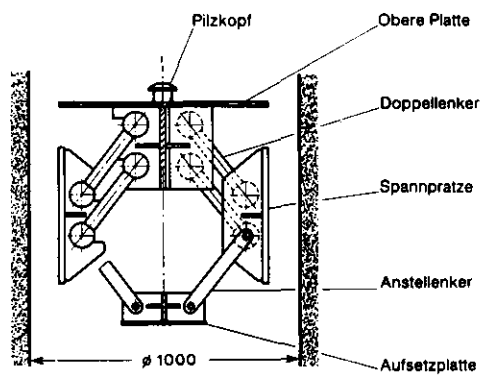


Bild 8: Stützelement

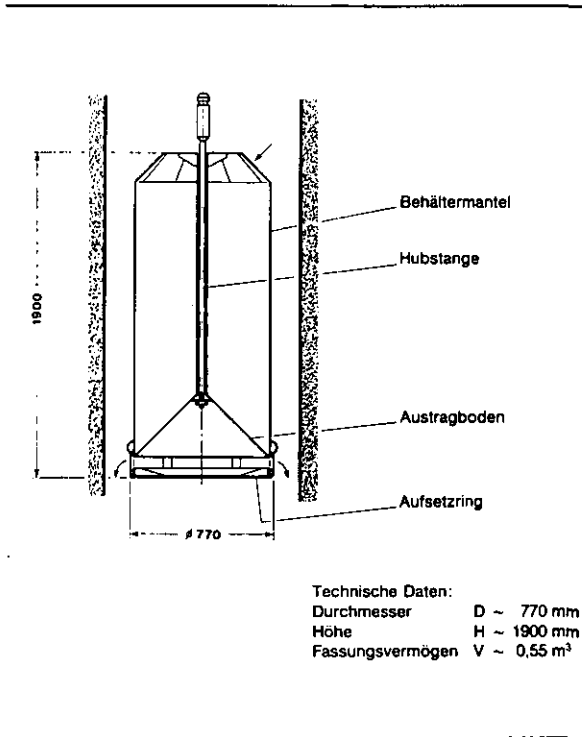


Bild 9: Versatzbehälter

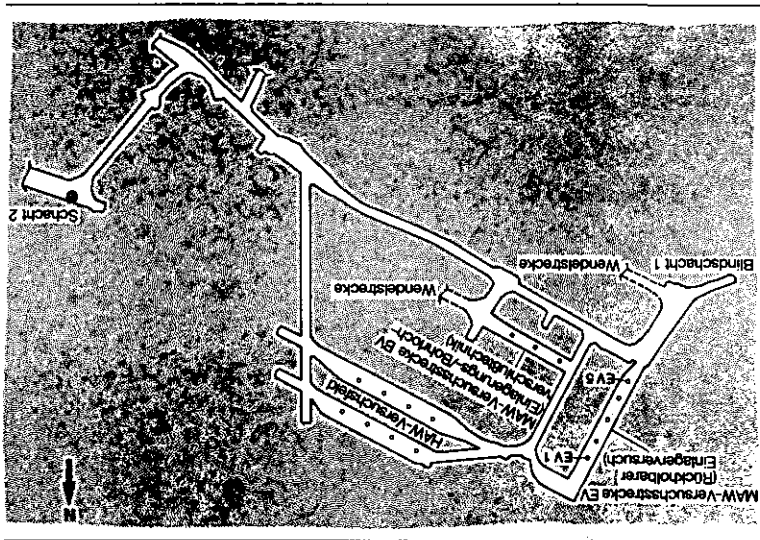


Bild 10: Versuchsstrecken
auf der 800-m-Sohle des Salzbergwerks ASSE

CHARAKTERISIERUNG DER MAW- UND
HTR-BE-ABFALLGEBINDE FÜR DEN
RÜCKHOLBAREN EINLAGERVERSUCH

Kornelius Kroth

Kernforschungsanlage Jülich GmbH
Institut für Chemische Technologie
der Nuklearen Entsorgung

Dieser Vortrag beschäftigt sich mit den experimentellen Anstrengungen und den Ergebnissen dieser Anstrengungen, die wir in der KFA unternommen haben, um die MAW-Gebinde, die wir im Rahmen des MAW-Einlagerversuchs in der Asse rückholbar einlagern werden, näher bezüglich ihres nuklearen Inventars zu charakterisieren.

Insgesamt werden 10 Abfallgebinde in drei Bohrlöchern in der Asse versuchsweise eingelagert.

Sechs dieser Abfallgebinde enthalten sogenannten wärmeentwickelnden MAW aus der Wiederaufarbeitung von LWR-Brennstoff. Er ist in zementierter Form in 200 l-Standardfässern verpackt.

Die Abfallfässer wurden nach unseren Angaben von der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe speziell gefertigt.

Die übrigen vier Abfallgebinde sind sogenannte AVR-Trockenlagerkannen mit verbrauchten Brennelementen aus dem Jülicher Hochtemperaturreaktor AVR.

Diese Brennelemente sollen nach den neueren Vorstellungen nicht wiederaufgearbeitet, sondern einer direkten Endlagerung im Salz zugeführt werden.

Charakterisierung der MAW-Versuchsgebände

WAK-Fixierungstechnik

Zunächst soll die in der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) ausgeübte Praxis der Konditionierung und Verpackung der MAW-Wiederaufarbeitungsabfälle in kurzen Worten beschrieben werden.

Die bei der Wiederaufarbeitung anfallenden mittelradioaktiven Abfälle - Feedklärschlamm, BE-Hülsen und BE-Strukturteile - werden in der Auflöserzelle in sogenannten Einsatzbehältern verpackt. Die Einsatzbehälter haben ein nominales Volumen von 120 dm^3 . (siehe Abb. 1)

Die Abfälle werden in Zementstein fixiert, indem das Abfallgut in den Einsatzbehältern mit dünnflüssigem Zementleim vergossen wird. Für den Ansatz des Zementleims findet Portlandzement PZ 45 F Verwendung mit einem Wasser/Zement-Verhältnis von 0,45. Zur Verflüssigung des Zementleims wird 1 % TRICOSAL zugesetzt.

Wenn der Zementleim abgebunden ist, werden die Einsatzbehälter in 200 l-Rollsickenfässer eingesetzt. Die 200 l-Fässer werden dann mit einem Zwischendeckel verschlossen. Diese Faß-in-Faß-Technik macht es möglich, äußerlich unkontaminierte Abfallfässer aus dem heißen Bereich der WAK auszuschleusen.

Zur weiteren Behandlung werden die 200 l-Fässer zu den heißen Abfallzellen der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB) des Kernforschungszentrums Karlsruhe (KfK) transportiert. Hier werden die Fässer endgültig gasdicht verschlossen, indem über den Zwischendeckel ein zweiter Deckel aufgeschraubt wird. Dieser Deckel ist mit einem Winkelring versehen, mit dem die Fässer mit entsprechendem Greifwerkzeug fernbedient manipulierbar sind.

Nach der in der WAK praktizierten Fixierungstechnik nimmt das in dem Einsatzbehälter fixierte Abfall-Zementprodukt ein Volumen von ca 112 dm^3 ein. Das 200 l-Faß hat demnach ein

inneres freies Volumen von ca. 88 dm^3 , in das radioaktive Gase und Radiolysegase aus dem Zementsteinprodukt freigesetzt werden können.

Die sechs 200 l-Fässer mit wärmeentwickelndem MAW aus der Wiederaufarbeitung wurden dem Projekt für den Einlagerversuch in der Asse von der WAK zur Verfügung gestellt.

Im Mai/Juni 1986 wurde in der WAK eine Wiederaufarbeitungskampagne durchgeführt, bei der hochabgebrannte LWR-Brennelemente aus dem Gemeinschaftskraftwerk Neckar-Westheim (GKN) zur Aufarbeitung gelangten.

Die MAW-Abfälle, die in den sechs 200 l-Fässern enthalten sind, stammen aus den drei GKN-BE Nr. 182, 187 und 190.

Nähere Angaben über den Brennstoff, den Reaktoreinsatz und die Wiederaufarbeitung werden in Abb. 2 aufgeführt.

Brennelementstrukturteile

Eins der sechs 200 l-Fässer enthält die Strukturteile des Brennelements Nr. 187. Zu den Strukturteilen eines LWR-Brennelements zählen Kopf- und Fußstück, Regelstabführungsrohre und die Distanzhalter. Die Strukturteile eines GKN-Brennelements haben ein Gewicht von ca. 50 kg. Die verschiedenen Strukturkomponenten des Brennelements bestehen aus Edelstählen unterschiedlicher Zusammensetzung und aus Inconel. Im Neutronenfluß des Reaktors werden die Strukturkomponenten hauptsächlich über (n,γ) -Reaktionen aktiviert. Hauptaktivitätsträger ist Co-60, das durch (n,γ) -Reaktionen an Co-Verunreinigungen der Strukturmaterialien erzeugt wird. Abb. 3 enthält eine Zusammenstellung der nuklearen Daten des Strukturteiles. Die aufgeführten Werte für Gesamtaktivität, Oberflächendosisleistung und nukleare Wärmeleistung - mit 1) in der Abbildung gekennzeichnet - sind die Ergebnisse einer ORIGEN-Abbrandrechnung. Die Aktivierungsrechnung basiert auf den bekannten chemischen Zusammensetzungen der Strukturteile und bestimmten Annahmen über zusätzliche Ver-

unreinigungen dieser Materialien. Bei der Berechnung der Aktivierung des Kopf- und Fußstücks wurde ebenfalls die Flußverteilung über den Reaktorkern berücksichtigt.

In den Dekontaminationsbetrieben (DE) der KFA-Jülich wurde an dem Strukturteilefaß eine γ -Dosisleistungsmessung durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, daß die Hauptaktivitätsträger stark inhomogen über den Einsatzbehälter verteilt sein müssen. Als Mittelwert über die Faßoberfläche wurde für einen effektiven Meßabstand von 10 cm von dem Faßmantel eine γ -Dosisleistung von 30 Gy/h ermittelt.

Die Übereinstimmung dieser experimentell ermittelten γ -Dosisleistung mit den Vorhersagen der ORIGEN-Abbrandrechnung ist relativ gut, wenn man berücksichtigt, daß die γ -Dosisleistung hauptsächlich von der Größe der Co-Verunreinigung der Strukturmaterialien bestimmt ist. Diese ist aber weitgehend unbekannt und liegt nur als oberer Spezifikationswert für die verschiedenen Materialien vor.

Die in Abb. 4 gezeigte Photographie entstand in der Auflöserzelle der WAK während der GKN-Aufarbeitungskampagne im Mai 1986. Das Photo zeigt die Strukturteile des Brennelements 187 vor der Verpackung in den bereitstehenden Einsatzbehälter. Zu sehen sind das Kopf- und das Fußstück (jeweils unten), die Regelstabführungsrohre (in der Mitte) und die sieben Distanzhalter (auf den Endstücken aufgeschichtet). Der Einsatzbehälter ist mit drei Temperaturfühlern vom Typ Pt-100 bestückt. Die Zuleitungen mit den entsprechenden Steckkupplungen ragen seitlich aus dem Einsatzbehälter heraus. Die Temperaturfühler dienen der Erfassung der Produkttemperaturen während eines folgenden Gasfreisetzungsexperiments in der KFA Jülich.

Brennelementhülsen

Zwei der sechs MAW-Fässer enthalten ausgelaugte Zircaloy-Hüllrohrstücke. Jeweils ca. 60 % $\hat{=}$ 60 kg der Hüllrohrstücke der GKN-BE 187 und 190 sind in den beiden Fässern in Zementstein fixiert. Die Hüllrohre sind aus Zircaloy-4 gefertigt. Neben Zirkon ist der Hauptlegierungsbestandteil Zinn. Hauptaktivierungsprodukte sind Co-60 und Sb-125. Daneben sind die Hüllrohre mit Spaltprodukten und α -aktiven Aktiniden kontaminiert.

Abb. 5 enthält eine Zusammenstellung der nuklearen Daten der beiden Hüllrohrfässer. Die aufgeführten Werte für Gesamtaktivität, Oberflächendosisleistung und nukleare Wärmeleistung - mit 1) in der Abbildung gekennzeichnet - sind die Ergebnisse einer ORIGEN-Abbrandrechnung. Die Aktivierungsrechnung basiert auf der bekannten Zusammensetzung des Zircaloy-4 und berücksichtigt die Kontamination der Hüllrohrstücke mit Spaltprodukten und Aktiniden.

Die γ -Dosisleistung der beiden Hüllrohrfässer wurde mit Hilfe einer drehbaren Meßeinrichtung in den Dekontaminationsbetrieben der KFA Jülich experimentell ermittelt. Für einen effektiven Meßabstand von 10 cm von der Faßmantelfläche wurde jeweils ein Mittelwert von 6 bzw. 7 Gy/h gemessen. Achsiale Schwankungen der γ -Dosisleistung werden darauf zurückgeführt, daß die Einsatzbehälter sich nicht zentrisch in den 200 l-Fässern befinden.

Die nukleare Nachwärmeleistung des Hüllrohrgebindes H-187 wurde experimentell ermittelt. Hierzu wurde ein im KfK, Abteilung Ingenieurtechnik (IT), entwickeltes und ausgetestetes Faßkalorimeter zur KFA Jülich transportiert und in den heißen Abfallzellen der Dekontaminationsbetriebe (DE) in Betrieb genommen.

Bei dem Faßkalorimeter handelt es sich um ein isotherm betriebenes Wärmeflußkalorimeter, bei dem der äußere Kalorimetermantel mit Hilfe eines Kryostaten auf konstanter Temperatur gehalten wird. Unter diesen Bedingungen ist die Temperaturer-

höhung des inneren Kalorimetermantels im Gleichgewicht eine Funktion der im Abfallfaß absorbierten Strahlungsleistung.

Das Faßkalorimeter war vor den Messungen mit Hilfe von elektrisch beheizbaren "dummy-Fässern" kalibriert worden.

Die Messung lieferte eine nukleare Wärmeleistung von 6,5 Watt. Dies entspricht der im 200 l-Faß absorbierten Wärmeleistung. Berücksichtigt man den Anteil zur Wärmeleistung, der durch γ -Strahlung das Faß verläßt, so erhält man eine Gesamtwärmeleistung von 8,1 Watt.

Die experimentellen Ergebnisse für γ -Dosisleistung und nukleare Wärmeleistung stimmen größenordnungsmäßig mit den Vorhersagen der ORIGEN-Aktivierungsrechnung überein. Entscheidend für beide Größen sind der Grad der Co-Verunreinigung des Hüllrohrmaterials und der Grad der Kontamination der Hülsen mit Spaltprodukten. Beide Faktoren sind mit großer Unsicherheit behaftet.

Die in Abb. 6 gezeigte Photographie entstand in der WAK während der GKN-Kampagne im Mai 1986. Das Photo zeigt den Auflöserkorb, in dem die ausgelaugten Hüllrohrstücke einer Auflösecharge nach der Auflösung enthalten sind. Der Auflöserkorb wird mit Hilfe einer drehbaren Aufhängevorrichtung so geneigt, daß die ausgelaugten Hüllrohrstücke in einen bereitstehenden Einsatzbehälter abgefüllt werden. Der Einsatzbehälter befindet sich in einer Vertiefung im Zellenboden und ist von einer trichterförmigen Manschette umgeben.

Feedklärschlamm

Bei der Auflösung von bestrahlten Kernbrennstoffen in HNO_3 fällt ein unlöslicher Rückstand an, der als Löserückstand bzw. Feedklärschlamm bezeichnet wird. Der FKS enthält edelmetallhaltige Phasenausscheidungen, Zr-Späne und Zr-Abrieb vom Scheren der Brennstäbe und möglicherweise unaufgelöste Brennstoffpartikel. Der FKS muß möglichst quantitativ aus der Brennstofflösung abgetrennt werden, bevor diese in den chemischen Prozeßteil der Wiederaufarbeitungsanlage eingespeist wird.

In der WAK erfolgt die Filterung der Brennstofflösung mit Hilfe eines Filtersackes. Der Sack besteht aus Polypropylen-Filtervlies, hat einen Durchmesser von ca. 150 mm und eine Länge von ca. 1000 mm. Nach Beendigung der Auflösung wird die Brennstofflösung über diesen Filtersack abgezogen. Ebenso werden die Spüllösungen der beiden nachfolgenden Spülvorgänge über den Filtersack filtriert.

Allen Beteiligten ist bewußt, daß diese Art Feed-Filterung nicht geeignet ist, den Feinanteil des FKS aus der Brennstofflösung quantitativ abzutrennen. Hierzu bedarf es feinerer Filtermaterialien mit Porenweiten $\varnothing \leq 1\mu\text{m}$.

Für den Einlagerversuch in der Asse wurden von der WAK drei FKS-Abfallgebinde zur Verfügung gestellt. Abweichend von der üblichen WAK-Technik wurden die Abfallgebinde speziell nach unseren Anforderungen gefertigt.

In den Einsatzbehältern wurde jeweils eine Blechbüchse installiert, die sich mit seitlichen Streben gegen die Innenwand der Einsatzbehälter abstützt. Die Blechbüchse dient zur Aufnahme und zentrischen Fixierung der Filtersäcke. Die Büchse ist allseitig perforiert, um dem Zementleim bei der Zementierung freien Zugang zu den Filtersäcken zu gewähren.

Zur Erfassung der Temperaturen sind die Einsatzbehälter mit mehreren Temperaturfühlern bestückt.

In den Büchsen der drei FKS-Abfallgebinde wurden jeweils zwei mit FKS beladene Filtersäcke verpackt. Über jeden Filtersack waren die Brennstofflösung und die entsprechenden Spüllösungen einer WAK-Auflösecharge filtriert worden. Jedes GKN-Brennelement wurde in zwei Auflösechargen aufgelöst. Demnach enthält jedes FKS-Abfallgebinde zwei Filtersäcke, in denen der FKS eines GKN-Brennelements enthalten ist.

Abb. 7 zeigt eine Zusammenstellung der nuklearen Daten der FKS-Abfallgebinde. Die mit 1) gekennzeichneten Werte für die Gesamtaktivität und die nukleare Wärmeleistung entsprechen dem DWK/PWA-Referenzvorschlag für die nukleare Zusammensetzung von FKS; um die Daten mit experimentell ermittelten Gebindedaten vergleichbar zu machen, wurden diese auf die Brennstoffmasse eines GKN-Brennelements und auf eine Abklingzeit von 4,5 Jahren umgerechnet.

Die nuklearen Daten aus dem DWK/PWA-Referenzvorschlag basieren im wesentlichen auf Untersuchungen an Kleinproben, die unter idealen Laborverhältnissen durchgeführt wurden. Insofern können gewisse Diskrepanzen mit Daten von technischen Produkten aus einer Wiederaufarbeitungsanlage nicht ausgeschlossen werden. Die nukleare Nachwärmeleistung der drei FKS-Gebinde wurde mit Hilfe des schon beschriebenen Faßkalorimeters in der KFA Jülich experimentell ermittelt. Die Wärmeleistungen liegen im Bereich von 1,5 - 2,7 Watt pro Gebinde.

Der Vergleich der experimentell ermittelten Wärmeleistungen mit denen des DWK/PWA-Referenzvorschlags zeigt, daß das nukleare Inventar der FKS-Abfallgebinde hinsichtlich der Nachwärmeleistung um einen Faktor von 13 - 24 gegenüber dem Erwartungswert des Referenzvorschlags zurückbleibt. Ausgehend von den

experimentell an den FKS-Abfallgebinden ermittelten γ -Dosisleistungen wurde die Gesamtaktivität der Gebinde abgeschätzt. Für die überschlägige Berechnung der Gesamtaktivität wurde unterstellt, daß die nuklidspezifische Zusammensetzung des in den beiden Filtersäcken abgeschiedenen Feststoffs der bekannten spektralen Zusammensetzung von FKS bei der betrachteten Abklingzeit entspricht. Mit dieser Annahme wurde im Rahmen einer Abschirmrechnung die Gesamtaktivität innerhalb des begrenzenden Raums der Blechdose so modelliert, daß die gemessenen γ -Dosisleistungen reproduziert wurden.

Für die Gesamtaktivität der FKS -Abfallgebinde lieferte diese Abschätzung einen Wertebereich von $5,4 - 9,7 \cdot 10^{12}$ Bq.

Dieses quasi experimentell abgeschätzte Aktivitätsinventar der FKS-Abfallgebinde bleibt gegenüber dem Referenzvorschlag um den Faktor 33 - 59 zurück. Für diesen Minderbefund kommen im wesentlichen zwei Interpretationsvorschläge in Betracht:

- 1) Der feinkörnige und spezifisch besonders aktive Anteil am FKS wird in dem Filtersack nicht zurückgehalten sondern gelangt in den chemischen Prozeßteil der Anlage.
- 2) Durch mangelnde Zirkulation der Brennstofflösung und der Spüllösungen bleibt der freigesetzte FKS teilweise in und an den Rohrstücken der Hülsenschüttung haften und gelangt deshalb nicht in den Filtersack.

Für den zweiten Ansatz haben sich zwischenzeitlich Hinweise durch Einzeluntersuchungen an WAK-Hüllrohrproben ergeben.

Die in Abb. 8 gezeigte Photographie wurde in der Head-End-Zelle der WAK während der GKN-Kampagne in Mai 1986 aufgenommen. Das Photo zeigt einen mit Feedklärschlamm geschwärzten Filtersack, der gerade mit einem Kranmanipulator in den bereitstehenden Einsatzbehälter abgesenkt wird. Die herausragenden Kabel führen zu den Pt-100-Temperaturfühlern.

Vor der Zementierung der Einsatztrommeln wurden die beiden Filtersäcke mit einem Bleistein beschwert, um ein Aufschwimmen der Säcke zu vermeiden, und um unnötigen Leerraum in dem Abfallprodukt zu vermeiden.

CHARAKTERISIERUNG DER HTR-BE-VERSUCHSGEBINDE

Die verbrauchten Brennelemente aus Hochtemperaturreaktoren werden einer direkten Endlagerung im Salz zugeführt. Aktivitäts- und Nachwärmedichte der bestrahlten Brennelemente sind vergleichbar mit denen von wärmeentwickelndem MAW aus der LWR-Wiederaufarbeitung. Es wird deshalb angestrebt, die verbrauchten HTR-BE nach der gleichen Technik - nämlich der MAW-Bohrlochtechnik in unverrohrten Bohrlöchern im Salz - endzulagern.

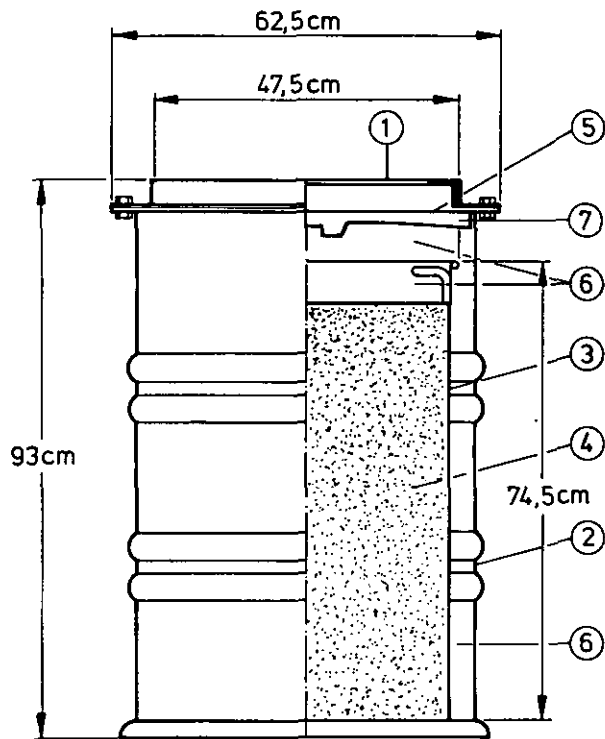
Aus diesem Grund ist im Rahmen des MAW-Einlagerversuchs in der Asse ein weiterer Arbeitspunkt aufgenommen worden, der die rückholbare Demonstrationseinlagerung von Abfallgebinden mit verbrauchten HTR-Brennelementen beinhaltet.

In diesem Versuchsteil werden vier sogenannte AVR-Trockenlagerkannen (Abb. 9) in einem separaten Bohrloch rückholbar eingelagert. Die AVR-Trockenlagerkanne ist eine gasdichte Edelstahlkonstruktion mit äußeren Abmessungen, die im wesentlichen denen des 200 l-Fasses entsprechen. Im Bereich des Kannenkopfes befindet sich ein Pilzdeckel, mit dem die Kanne unter Verwendung eines geeigneten Greifwerkzeugs fernbedient manipuliert werden kann. Im Pilzdeckel befindet sich eine Öffnung, die mit einem gasdicht schließenden Stopfen verschlossen wird. Durch diese Öffnung wird die AVR-Trockenlagerkanne mit AVR-Brennelementen befüllt. Die Kanne ist ausgelegt für die Aufnahme von 950 AVR-Brennelementen.

Das kugelförmige, graphitische AVR-Brennelement enthält den Brennstoff in Form von pyrokohlenstoffbeschichteten Partikeln, die in der Graphitmatrix fixiert sind. Die äußere Schale der AVR-Brennelemente ist frei von Brennstoffpartikeln.

Für den Einlagerversuch mit HTR-Abfallgebinde in der Asse stehen in der KFA-Jülich vier AVR-Trockenlagerkannen zur Verfügung. Die Kannen sind befüllt mit jeweils 950 verbrauchten Brennelementen aus dem Jülicher Hochtemperaturversuchsreaktor (AVR). Das nukleare Inventar der Kannen - Gesamtaktivität, γ -Dosisleistung, Wärmeleistung und Restspaltstoffgehalt - wurde durch Arbeiten, die im Institut für Reaktorwerkstoffe (IRW) der KFA Jülich durchgeführt wurden, ausführlich charakterisiert. Die nuklearen Daten der AVR-Trockenlagerkannen werden in den Abb. 9 + 10 aufgeführt.

Die Freisetzung von flüchtigen Radionukliden aus den Brennelementen in das Kannengas wurde ebenfalls untersucht, entsprechende Ergebnisse liegen vor.



- ① Winkelringdeckel
- ② 200 l-Faß
- ③ Einsatzbehälter
- ④ MAW-Zementsteinprodukt; ca 112 dm³
- ⑤ Innerer Faßdeckel
- ⑥ Faßleervolumen; ca. 88 dm³
- ⑦ Zwischendeckelvolumen

Abb. 1: 200 l-Standardfaß mit zementiertem MAW nach WAK-Technik

Reaktordaten der in der WAK aufgearbeiteten GKN-BE

Reaktor:	GKN, DWR
anf. Anreicherung:	3,2 %
Abbrand:	37,5 GWd/t
Bestrahlungsende:	7/82
Wiederaufarbeitung:	WAK 5/87
Brennstoffmasse:	357 kg/BE
Brennelemente:	Nr. 182 + 187 + 190

Strukturteile

1. Kopf-, Fußstück, Distanzhalter, Regelstabführungsrohre des BE-187; ca 50 kg

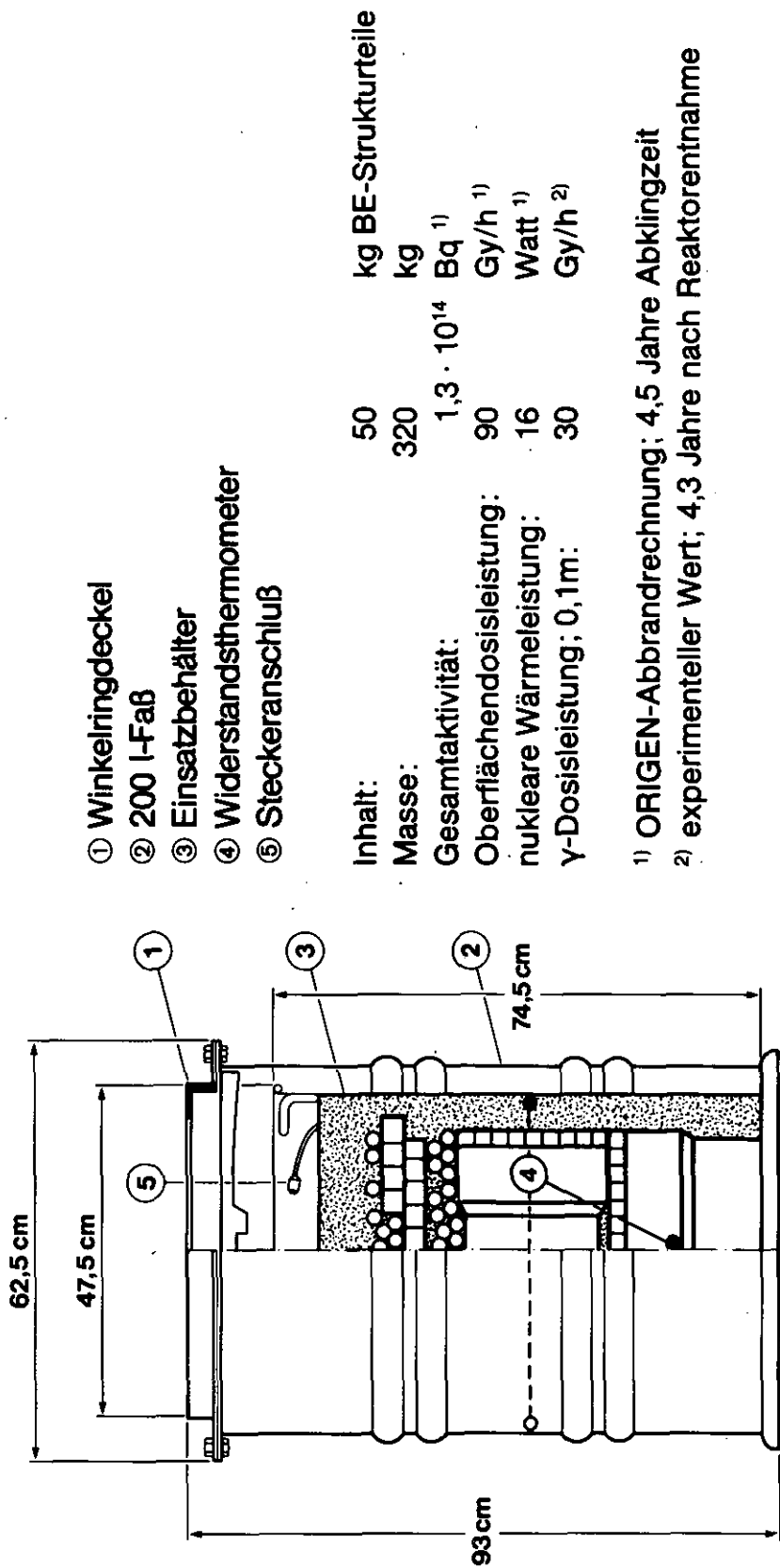
BE-Hülsen

2. ca 60 % der Zirkaloy-4-Hüllrohrstücke \cong 60 kg des BE-187
3. dito des BE-190

Feed-Klärschlamm (FKS)

4. 2 Polypropylen-Filtersäcke mit dem FKS jeweils einer WAK-Auflösecharge \cong ca 1 kg des BE-187
5. dito des BE-190
6. dito des BE-182

Abb. 2: Abbranddaten der GKN-BE; Inhalt der sechs MAW-Fässer für den Einlagerversuch



¹⁾ ORIGEN-Abbrandrechnung; 4,5 Jahre Abklingzeit
²⁾ experimenteller Wert; 4,3 Jahre nach Reaktorentnahme

Abb. 3: 200 l-Standardfaß mit zementierten Strukturteilen eines GKN-Brennelements

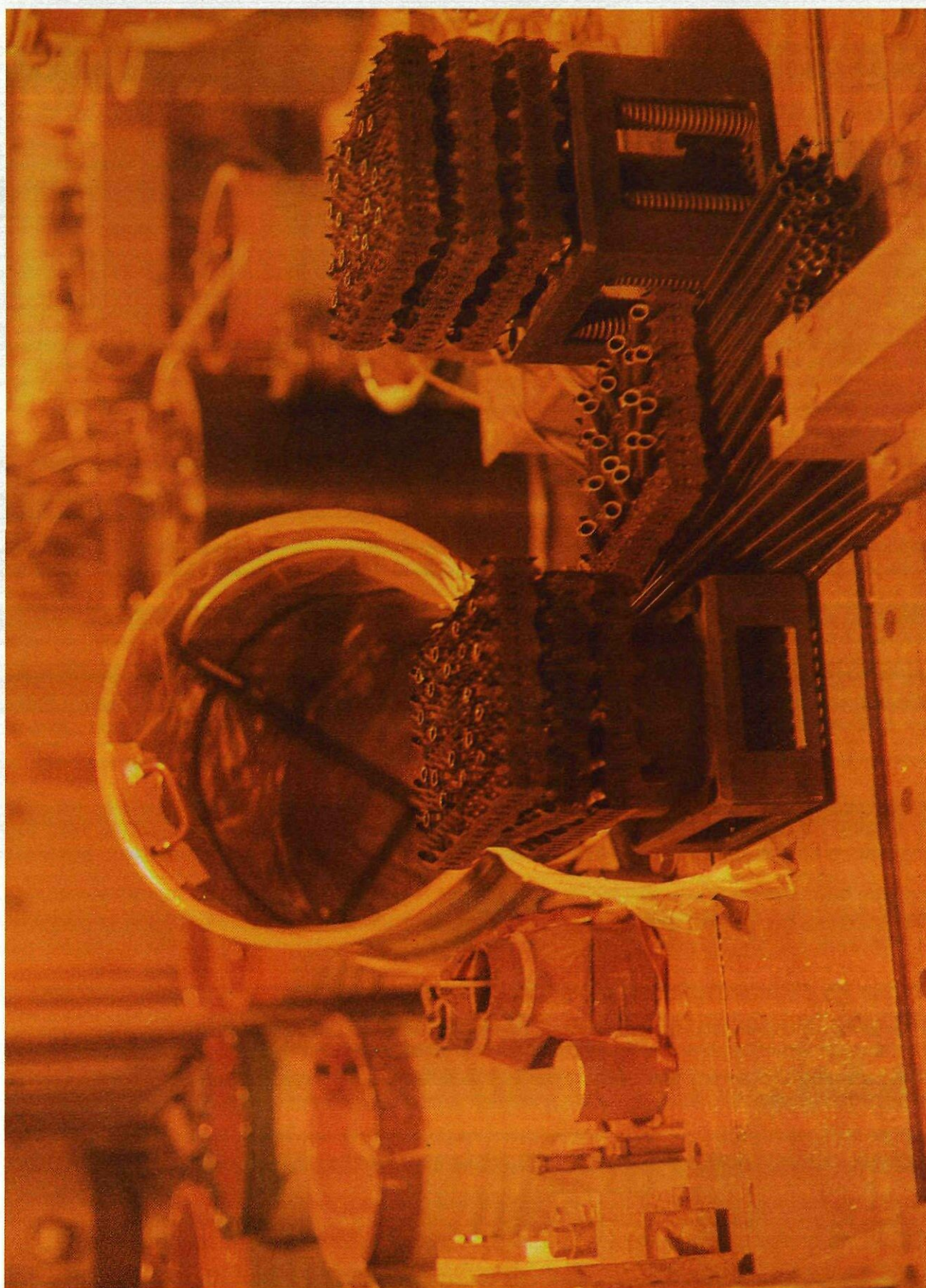


Abb. 4: Strukturteile des GKN-BE 187 vor Verpackung in der WAK

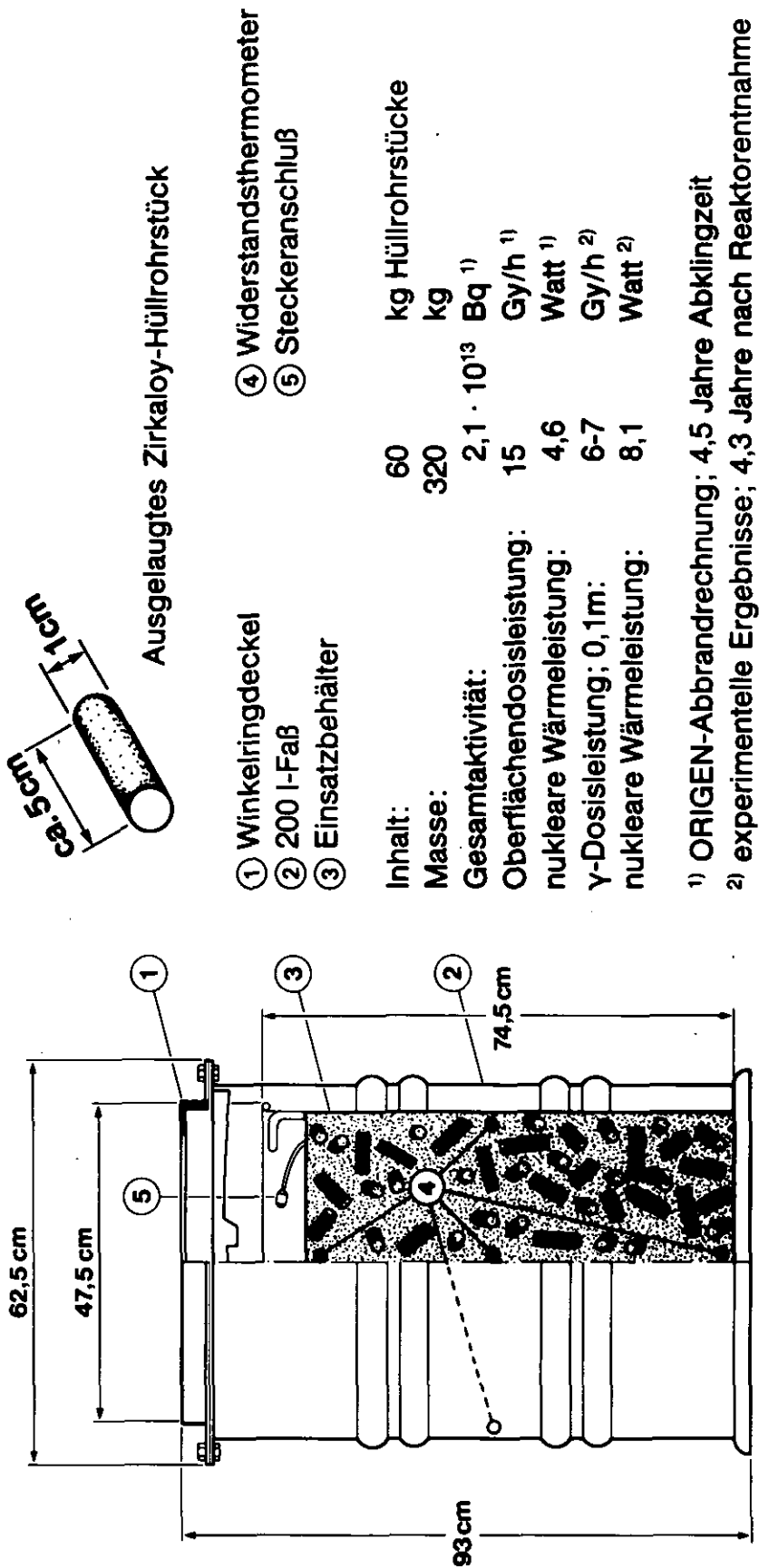
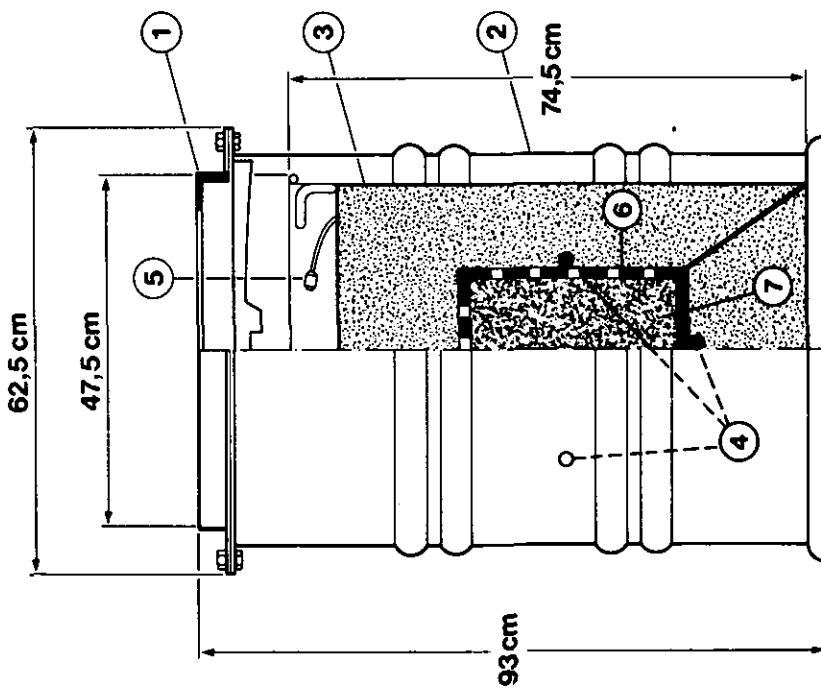


Abb. 5: 200 l-Standardfaß mit zementierten Hüllrohrstücken eines GKN-Brennelements



Abb. 6: Auflöserkorb in der WAK beim Abfüllen der Hüllrohrstücke



- ① Winkelringdeckel
- ② 200 l-Faß
- ③ Einsatzbehälter
- ④ Widerstandsthermometer
- ⑤ Steckeranschluß
- ⑥ Büchse
- ⑦ Filtersack mit Feedklärschlamm

Inhalt: FKS eines GKN-BE nach WAK-Technik

Masse:	320	kg
Gesamtaktivität:	$3,2 \cdot 10^{14}$	Bq ¹⁾
nukleare Wärmeleistung:	36	Watt ¹⁾
γ-Dosisleistung; 0,1m:	0,3-0,55	Gy/h ²⁾
nukleare Wärmeleistung:	1,5-2,7	Watt ²⁾
Gesamtaktivität:	$5,4-9,7 \cdot 10^{12}$	Bq ²⁾

¹⁾ gemäß DWK- PWA- Referenzvorschlag: 4,5 Jahre Abklingzeit

²⁾ experimentelle Werte: 4,3 Jahre Abklingzeit

Abb. 7: 200 l-Standardfaß mit zementiertem Feedklärschlamm aus einem GKN-Brennelement



Abb. 8: Filtersack zur Abtrennung des Feedklärschlamm in der WAK

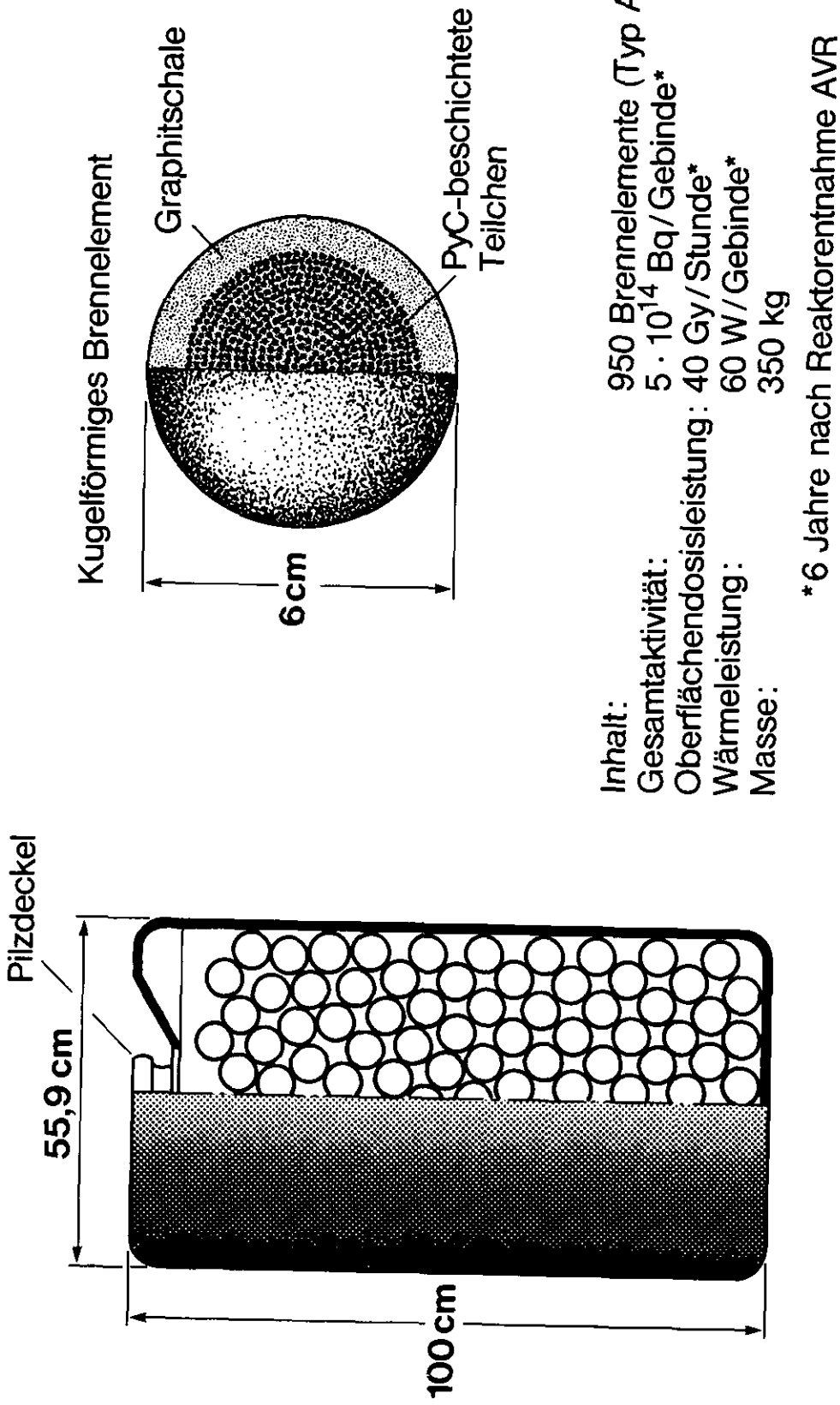


Abb. 9: AVR-Trockenlagerkanne mit verbrauchten AVR-Brennelementen

Kanne	BE-Typ	Abbrand % firma	Nachwärme W 1.11.82	Aktivität/Ci 1.11.82	Dosisleistung / R/h im Kontakt 1 m 2 m Meßdatum		
1	GO	12,3	93,0	22900	5850	450	135 15.12.82
2	GK	16,3	89,3	20500	7590	590	190 15.12.82
3	GO	13,6	91,0	21750	6000	380	140 5.11.82
4	GK	16,1	88,4	20500	7500	420	185 5.11.82

Abb. 10: Gebindedaten der vier AVR-Trockenlagerkannen für den rückholbaren Einlagerversuch

Kanne	Buchwerte				Rechenwerte aus Abbrand				Thorium
	U 233	U 235	U 236	U _{ges}	U 233	U 235	U 236	U _{ges}	
1	87,99	123,52	133	403,43	80,8	209,0	125,1	475	4560
2	87,92	123,51	133	403,32	92,6	66,7	138,6	360	4560
3	87,60	123,51	133	403,02	86,0	149,2	130,0	424	4560
4	88,00	123,49	133	403,43	92,3	69,6	136,0	356	4560
Gesamt	351,51	494,03	532	1613,20	352,0	494,5	529,6	1615	18240

Abb. 11: Spaltstoffinventare der vier AVR-Trockenlagerkannen für den rückholbaren Einlagerversuch

VERSUCHSAUFBAU ZUR MESSUNG FLÜCHTIGER RADIONUKLIDE UND RADIOLYSEGASE

Dipl.Ing. Hans-Günter Götze

Wissenschaftlich-Technische Ingenieurberatung GmbH

5177 Titz-Rödingen

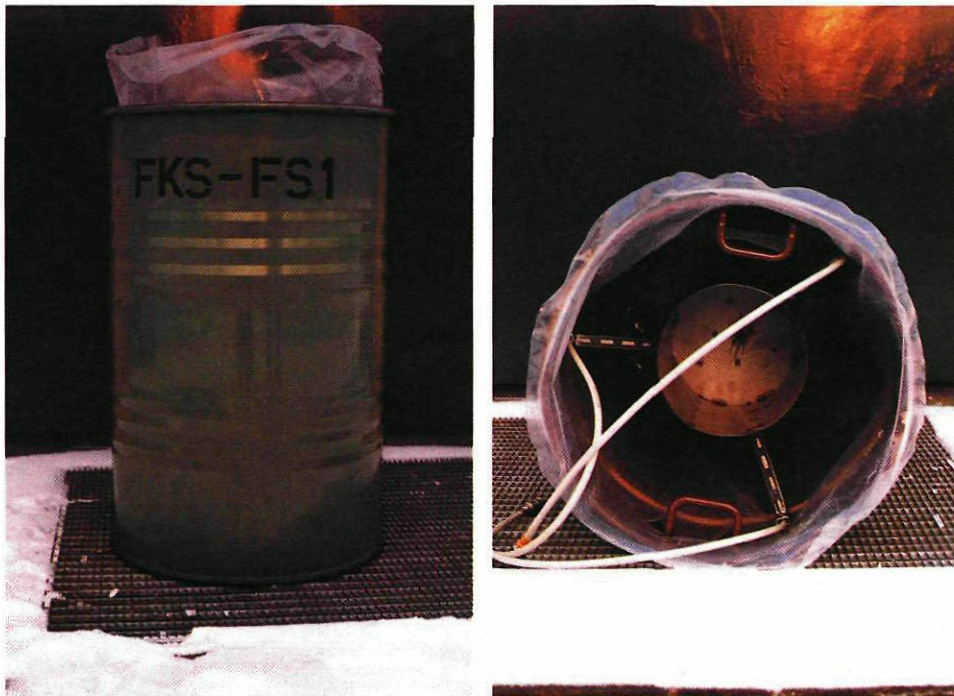
1. VORBEREITUNG DER EINSATZTROMMELN

In die Einsatztrommeln wurden vor der Konditionierung mit Abfällen der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) im ICT der Kernforschungsanlage Jülich (KFA-Jülich) Einbauten und Temperaturfühler, die mit strahlenbeständigem Kabel und manipulatorbedienbaren Steckern konfektioniert sind, installiert.

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die Einsatztrommel FKS-FS1 für die Zementierung von Feedklärschlamm (FKS). Die Einsatztrommel ist mit einem Polyäthylensack zur Verhinderung von Korrosion ausgekleidet. Zentral angeordnet eine auf 3 Beinen stehende zylindrische Edelstahlbüchse, in die 2 FKS-beladene Polypropylenfilterbeutel eingebracht werden. Am Mantel und am Boden der Büchse sind Temperaturfühler montiert.

Die Einsatztrommeln für die Zementierung von Brennelementhülsenabschnitten und Brennelementstrukturteilen sind in entsprechender Weise ausgerüstet.

MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern



Einsatztrommel für die Zementierung von Feedklärschlamm

2. VERSUCHSBESCHREIBUNG

Prinzipiell besteht der Versuchsaufbau aus 6 Meßbehältern, von denen jeder eine Einsatztrommel mit zementiertem Waste aufnimmt. Die Meßbehälter sind so verrohrt, daß jeder für sich ein geschlossenes, unabhängiges System bildet, an dessen Gasraum über ein Ventiltabelleau eine Gasanalyseapparatur angeschlossen werden kann.

Die folgende Abbildung zeigt repräsentativ das Fließbild des Meßbehälters für Gasfreisetzungsmessungen aus zementiertem FKS. Ausgehend von einer Gasanalyseapparatur strömt Gas unten am Meßbehälter ein, wird von einer gewölbten Platte auf den Ringraum um die Einsatztrommel verteilt und strömt vom Gasaustritt am Meßbehälterdeckel über einen Trockner zur Analyseapparatur zurück.

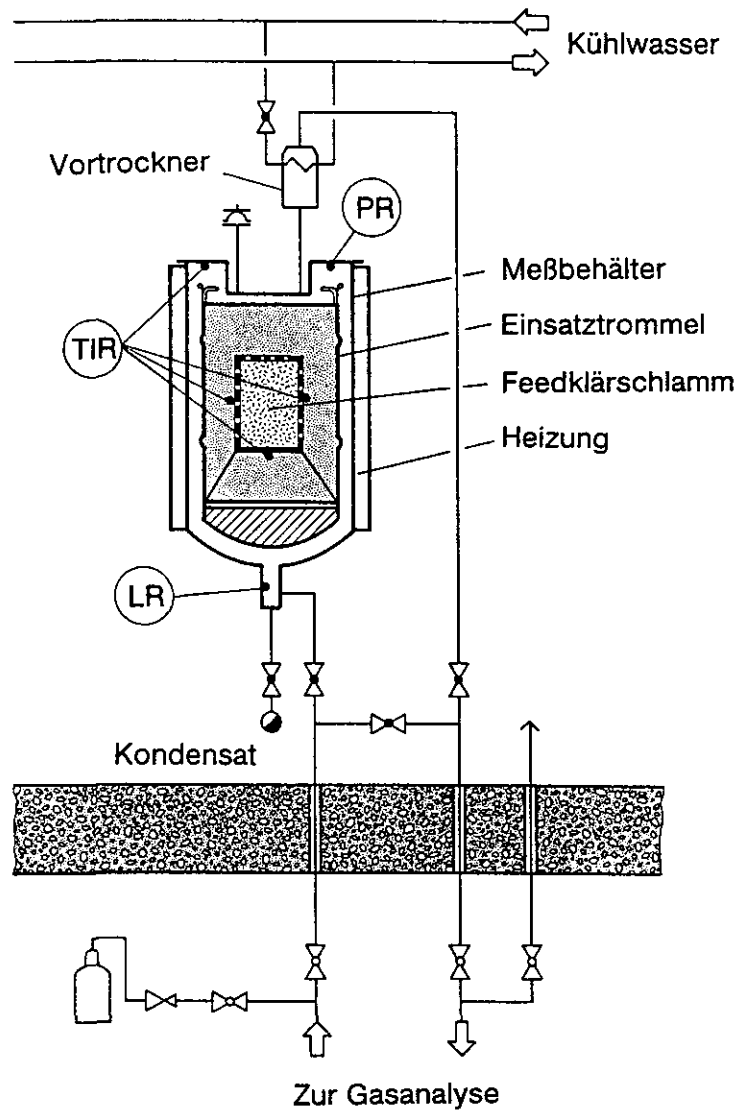
Am Behältersumpf kann über eine entsprechende Entnahmevorrichtung Kondensat aus dem Meßbehälter abgezogen werden.

Das Fließbild zeigt weiterhin die Temperaturmeßstellen in der Einsatztrommel (s. Kap. 1). Der Meßbehälter ist in seinem Gasraum mit einem weiteren Temperaturfühler ausgerüstet.

Am Deckel des Meßbehälters ist ein Druckaufnehmer zur Messung des Innendruckes montiert.

Alle Meßsignale werden über strahlenbeständiges Kabel an einen Meßschrank, in dem die entsprechenden Anzeige- und Auswertegeräte installiert sind, übertragen.

MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern



Fließbild zur Messung flüchtiger Radionuklide und Radiolysegase aus zementierten Feedklärschlämmen

Der Meßbehälter ist für Gasfreisetzungsmessungen bei erhöhten Temperaturen (max. 90 °C im Zentrum des zementierten Wastes) mit einer regelbaren elektrischen Heizung ausgestattet.

3. BESCHREIBUNG DER MESSBEHÄLTERKONSTRUKTION

Die Konstruktion der Meßbehälter geht aus der nächsten Abbildung hervor.

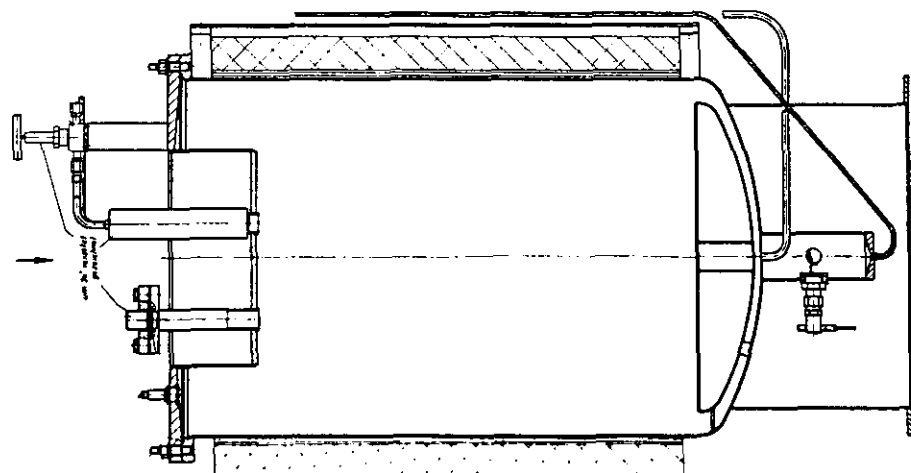
Der zylindrische Behälter ist ausgerüstet mit einem gewölbten Boden und einem Deckelflansch. Für die Einsatztrommeln ist als Standfuß im Behälter ebenfalls ein mit einem Deckblech verschweißter, gewölbter Boden vorgesehen, der auch gleichzeitig die Aufgabe hat, den eintretenden Gasstrom auf den Ringraum um die Einsatztrommel zu verteilen.

Am Boden des Behälters ist ein wurmartiger Fortsatz (Sumpf) angeschweißt, in dem sich aus der Behälteratmosphäre kondensierte Flüssigkeit sammelt. Diese kann über eine Entnahmevorrichtung (in der Abbildung nicht dargestellt) entsorgt und der Analyse zugeführt werden.

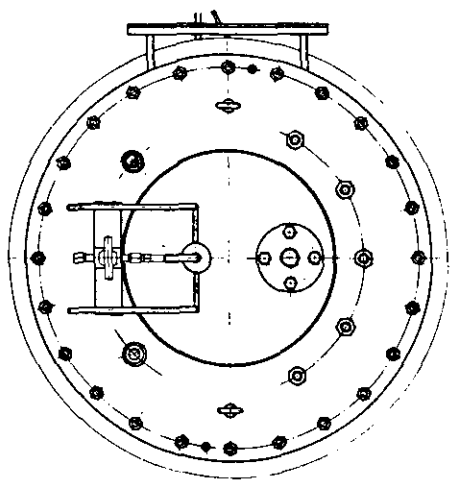
Der Meßbehälterdeckel hat einen zylindrischen Ansatz, der in die Einsatztrommel bis kurz über die Zementoberfläche hineinragt, zur Reduzierung des Behälterhohlraumes. Am Deckel sind Durchführungen zur Übertragung der Temperaturmeßsignale aus der Einsatztrommel, ein Fühler für Temperaturmessungen in der Behälteratmosphäre, ein Druckaufnehmer für Druckmessungen der Behälteratmosphäre und ein Gastrockner (s. Kap. 2) montiert.

Am Meßbehälterdeckel ist eine Berstscheibe angeflanscht, die bei Überschreitung des max. Behälterinnendruckes von 3 bar abbläst.

MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern



Meßbehälter zur Messung flüchtiger Radionuklide und Radiolysegase in den heißen Zellen der KFA-Jülich



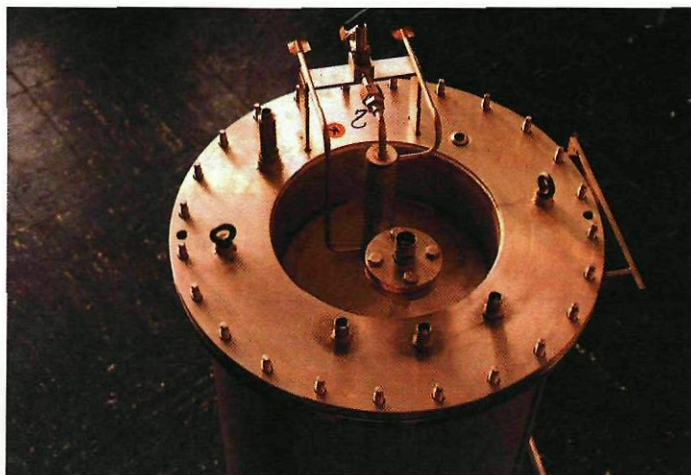
Hersteller: Göttinger
 Fabrik Nr.
 Baujahr: 1962
 Betriebsdruck: 3 bar
 Betriebsleistung: 100 W
 Inhalt: ca. 100 l

Druckbehälter mit einem Innendruck von 3 bar.
 Halter für die Messung der Drucke.
 Prüfling: Prüfung der Leckage (10⁻⁴ mbar l/s)
 Abnahme: TÜV
 Schweißtechnik: Dahn Schweißtechnik AG
 Schweißstelle: 115% (GAS-400)

Der Meßbehälter weist aufgrund der Verwendung silberbeschichteter O-Ring-Dichtungen eine Dichtheit von $10^{-5} \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ auf.

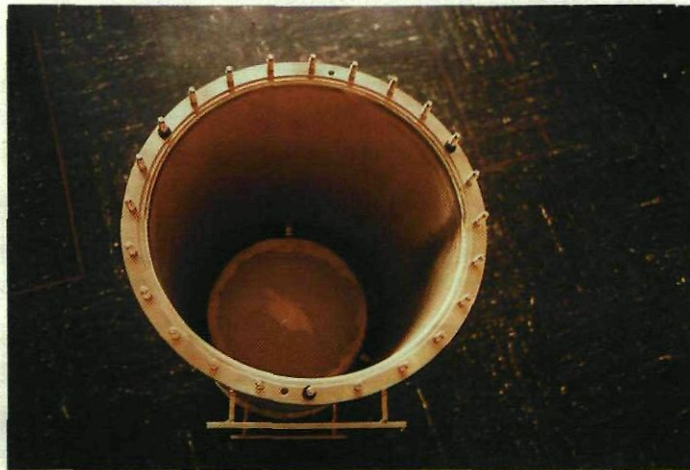
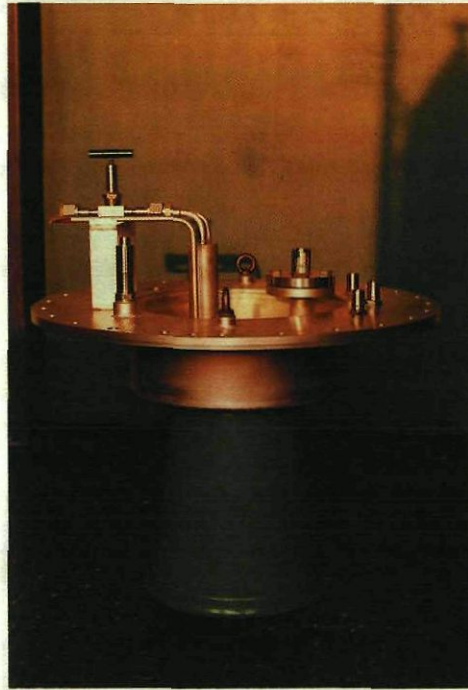
Die folgenden Abbildungen zeigen Fotografien eines gefertigten Meßbehälters in verschiedenen Ansichten.

MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern



*Meßbehälter zur Messung flüchtiger Radionuklide und
Radiolysegase in den heißen Zellen der KFA-Jülich*

MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern



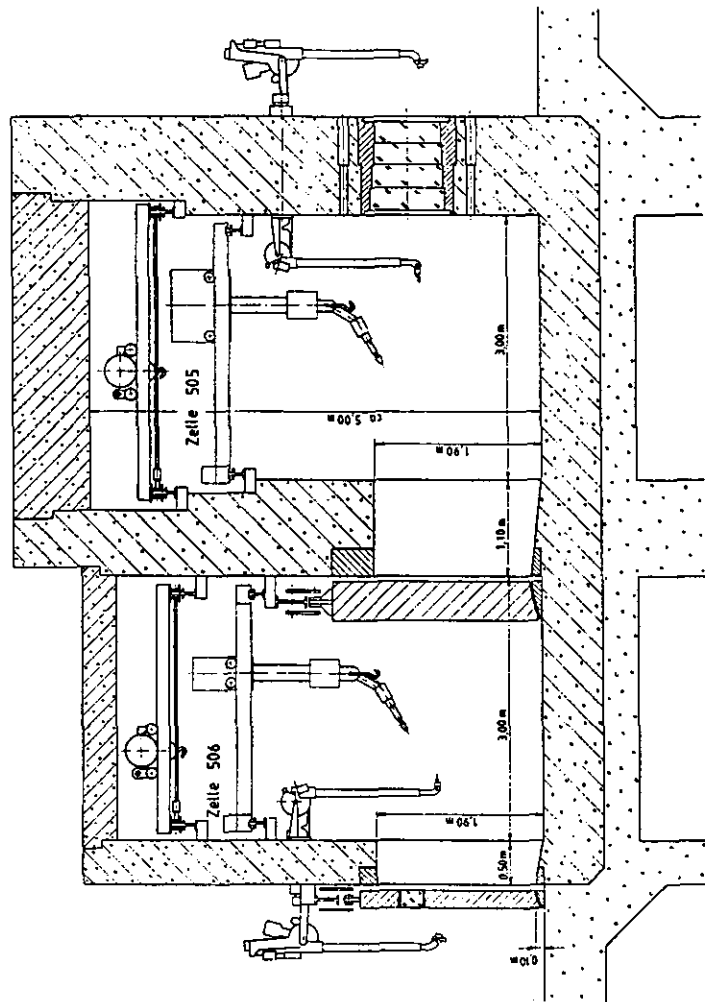
Meßbehälter zur Messung flüchtiger Radionuklide und Radiolysegase in den heißen Zellen der KFA-Jülich

4. STANDORT DES VERSUCHSSTANDES

Der Versuchsstand zur Messung flüchtiger Radionuklide und Radiolysegase wurde in der Zelle 505 der Großen Heißen Zellen (GHZ), einer Abteilung des Instituts für Reaktorwerkstoffe (IRW) der KFA-Jülich, installiert.

Die folgende Abbildung zeigt einen Aufriß der Zelle 505 und der Isolierzelle 506. Zu sehen ist die geräte-technische Ausrüstung der Zellen. Es stehen jeweils Handmanipulatoren, Fahrmanipulatoren und Brückenkrane für Handhabungen zur Verfügung.

MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern



Aufriss der Zelle 505 und Isolierzelle 506

5. VERSUCHSSTAND

In der folgenden Abbildung ist der komplett installierte Versuchsstand dargestellt.

Die Meßbehälter stehen zu dritt in zwei Reihen hintereinander. Die hinteren Behälter stehen höher um eine gute Zugänglichkeit und freien Blick auf die Behälter mit ihren Armaturen zu gewährleisten. Um die Meßbehälter ist eine mit verzinktem Blech verkleidete Wärmeisolierung angebracht, die die elektrische Heizung nach außen hin abschirmt. Zu sehen sind weiterhin die Montageracks, an die Rohre, Meßleitungen, Kondensat-Entnahmevorrichtung und Armaturen angebracht sind. Oben an den Meßbehältern sind die gesteckten Meßleitungen sichtbar.

MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern



*Versuchsstand zur Messung flüchtiger Radionuklide
und Radiolysegase in den heißen Zellen der KFA-Jülich*

UNTERSUCHUNGEN ZUR FREISETZUNG FLÜCHTIGER
RADIONUKLIDE UND RADIOLYSEGASE

- Erste Meßergebnisse -

Kornelius Kroth

Kernforschungsanlage Jülich GmbH
Institut für Chemische Technologie
der Nuklearen Entsorgung

Einleitung

Bei der sicherheitstechnischen Betrachtung der MAW- und HTR-BE-Bohrlocheinlagertechnik gibt es für die Bohrlocheinlagerphase - bis zum Verschuß des Bohrlochs mit einem Bohrlochstopfen - zwei Fragestellungen von entscheidender sicherheitstechnischer Bedeutung:

- 1) Kann grundsätzlich ausgeschlossen werden, daß es durch radiologisch gebildeten Wasserstoff zu explosiblen Gasgemischen in der Bohrlochatmosfera kommt?
- 2) Liegt die Dosisbelastung, der das Einlagerbetriebspersonal durch radioaktive, aus dem Bohrloch entweichende Gase ausgesetzt ist, unterhalb tolerierbarer Grenzwerte?

Während der Zwischenlagerzeit wird in den zementierten MAW-Abfallgebinden durch Radiolyse an der wasserhaltigen Abfallmatrix Radiolysewasserstoff erzeugt. Für den Fall, daß die Abfallfässer dicht sind, wird dieser Wasserstoff in dem Faßvolumen aufgenommen. Dieser Effekt kann zu einer Erhöhung des Faßinnendrucks führen. Zusätzlich werden in der Zwischenlagerzeit gasförmige Aktivitätsträger wie Kr-85 und Tritium (HT und HTO) in die Faßatmosfera freigesetzt. Bei der Einlagerung der Abfallgebinde ins Bohrloch erfahren die Gebinde infolge der erhöhten Gebirgstemperatur und der nuklearen Nachwärme eine Temperaturerhöhung bis auf maximal 90°C. Aus dieser Temperaturerhöhung resultiert eine Druckerhöhung im freien Gasraum des Gebindes. Allein durch den Aufbau des Wasserdampfpartialdrucks ergibt sich ein Druckanstieg um ca. 0,7 bar.

Für die sicherheitstechnische Betrachtung wird konservativ angenommen, daß es bei den zu erwartenden Druckverhältnissen in den Gebinden teilweise zu einem Versagen der Faßdichtungen kommt. Ergebnis dieses Dichtungsversagens wäre die Freigabe des im Faßgasraum während der Zwischenlagerung angesammelten Inventars an Radiolysewasserstoff und an leichtflüchtigen radioaktiven Gaskomponenten in die Bohrlochatmosfera.

Es ist zu vermuten, daß es bei den erhöhten Temperaturen der Gebinde im Bohrloch zu einer verstärkten Freisetzung von radioaktiven Gaskomponenten und/oder Radiolysewasserstoff aus der Abfallmatrix kommt. Eine solche verstärkte Ausgasung ist insbesondere dann zu erwarten, wenn infolge der Temperaturerhöhung das ungebundene Wasser aus der Zementmatrix ganz oder teilweise entweicht. Damit ist aber kurzfristig (das Einlagerbohrloch ist max. ein Jahr unverschlossen) nur dann zu rechnen, wenn die Fässer grob undicht sind oder ihre Integrität durch die Einlagerung verloren haben sollten.

Untersuchungsergebnisse über die Freisetzung flüchtiger Radionuklide aus zementiertem MAW und über die Bildungsraten von Radiolysewasserstoff liegen bisher nur in begrenztem Umfang vor. Wir haben uns deshalb entschieden, in einem projektbegleitenden Meßprogramm solche Meßdaten an den aktuellen Abfallgebinden zu gewinnen, um eine Ausgangsbasis für die sicherheitstechnische Beurteilung der MAW-Bohrlocheinlagertechnik zu haben.

Die experimentelle Anordnung in den Heißen Zellen der KFA-Jülich, mit der diese Untersuchungen durchgeführt werden, ist ausführlich in dem vorangegangenen Beitrag von Herrn Götze beschrieben worden.

Versuchsziele

In Abb. 1 sind die einzelnen Versuchsziele des Heißzellenexperiments zusammengestellt.

Das erste Versuchsziel besteht darin, Voraussagen machen zu können über die zeitliche Entwicklung des Faßinnendrucks für die verschiedenen Abfallgebinde. Bei Raumtemperaturbedingungen, die für die Zwischenlagerphase bis zur Einlagerung der Gebinde unterstellt werden, haben wir mit zwei Prozessen zu rechnen, die den Faßinnendruck beeinflussen:

- 1) Durch radiolytische Zersetzung des ungebundenen Wassers im Zementporensystem entsteht Radiolysewasserstoff; dies führt zu einem Druckanstieg im Faß.
- 2) Unter der intensiven γ -Strahlung, die von den Abfällen ausgeht, hat man mit einer gewissen Dissoziation des Luftsauerstoffs bzw. mit einer Bildung von Ozon zu rechnen. Folge davon ist ein langsamer Verlust an Sauerstoff durch Oxidationsprozesse.
Dieser Effekt wirkt druckmindernd.

Bei erhöhten Gebindetemperaturen, die wir während der Bohrlocheinlagerphase zu erwarten haben, kommen weitere drucksteigernde Effekte hinzu:

- 1) thermische Expansion des Faßgases
- 2) das ungebundene Wasser in der Abfallmatrix erzeugt einen erhöhten Wasserdampfpartialdruck entsprechend der Gebindetemperatur.

Der zeitliche Verlauf des Innendrucks in den gasdichten Meßbehältern wird im Rahmen des Versuchsprogramms für unterschiedliche Temperaturen der Abfallmatrix registriert. Aus den Ergebnissen läßt sich der Verlauf des Innendrucks in den Abfallfässern für die Zwischenlager- und die Einlagerphase voraussagen.

Aus den Meßbehältern werden in zeitlichen Abständen Gasproben entnommen. Die chemische Zusammensetzung des Behältergases wird gaschromatographisch und massenspektrometrisch untersucht. Die Analysenergebnisse gestatten es, Aussagen zu machen über die Produktionsraten an Radiolysewasserstoff und über die Verlustraten an Luftsauerstoff.

Mit Hilfe verschiedener Kernstrahlungsmeßmethoden wird die Aktivitätskonzentration des Behältergases an H-3, C-14, Kr-85 und an β - γ -aktiven Aerosolen an Hand von Gasproben analysiert.

H-3 in der Form von HTO wird nachgewiesen, indem das Behältergas über eine Kühlfalle geleitet wird, mit der die Feuchte des Gases ausgefroren wird. Der quantitative Nachweis des H-3 erfolgt mittels Flüssigszintillationstechnik nach einer destillativen Reinigung der wässrigen Proben.

Der Nachweis von H-3 in Form von HT oder anderer oxidierbarer Gase geschieht in gleicher Weise, nachdem diese Gaskomponenten über einem beheizten CuO-Bett zu HTO oxidiert worden sind.

Die Aktivitätskonzentration des Behältergases an C-14 in den verschiedenen gasförmigen Formen wird ermittelt, indem das Gas vor und nach einer Oxidationsstufe über Waschflaschen mit Natronlauge geleitet wird. In den Waschflaschen wird C-14 als CO_2 absorbiert. Der Nachweis erfolgt, indem das gelöste CO_2 durch Zugabe von Ba(OH)_2 als BaCO_3 gefällt wird. Der Niederschlag wird gewaschen und mittels Flüssigszintillationstechnik ausgemessen.

Der Nachweis des Kr-85 erfolgt γ -spektrometrisch mit Hilfe eines hochauflösenden Ge HP-Detektors. Eine Meßkammer, die einen inneren Hohlraum zur Aufnahme der Endkappe eines Ge HP-Detektors besitzt, wird mit Behältergas gefüllt. Die spezielle Meßgeometrie bewirkt eine hohe Nachweisempfindlichkeit bei gleichzeitig geringem Untergrund. Die Empfindlichkeit kann noch gesteigert werden, indem das Behältergas in der Meßkammer komprimiert wird.

Bei der Gasprobenahme mitgeführte β - γ -aktive Aerosole werden in einem Filter abgeschieden, der anschließend γ -spektrometrisch ausgemessen wird.

Es ist zu erwarten, daß es bei den erhöhten Temperaturen während der Bohrlocheinlagerphase zu einer verstärkten Freisetzung flüchtiger Radionuklide aus der Abfallmatrix in das Faßgas kommt. Die Analyse der flüchtigen radioaktiven Gase erfolgt deshalb auch nach gewissen Standzeiten der Gebinde bei erhöhten Temperaturen bis 90°C.

Unsere Vorstellung über den Freisetzungsmechanismus von Kr-85 ist die, daß es durch den stark alkalischen Zementleim beim Abbinden zu einem kurzzeitigen chemischen Angriff auf Kr-85-haltige Bestandteile des Abfalls kommt; dies führt zu einer lokalen Freisetzung von Kr-85 in die Zementsteinmatrix. Die Diffusionswege des in mikroskopischen Mengen freigesetzten Kr-85 zur Zementsteinoberfläche sind dadurch stark behindert, daß das Zementporensystem fast vollständig mit überschüssigem Wasser gefüllt ist. Überschreitungen der Löslichkeitsgrenzen für Kr in Wasser kommen auch lokal für eine beschleunigte Diffusion nicht in Betracht, da die freigesetzten Mengen mikroskopisch sind.

Im letzten in der Abb. 1 aufgeführten Versuchsziel sollen die maximal möglichen Freisetzungsmengen an Radiolysewasserstoff und an Kr-85 experimentell ermittelt werden. In diesem Arbeitspunkt werden die Freisetzungsraten während und nach einer gezielten Entfernung des diffusionshemmenden Porenwassers aus der Zementsteinmatrix untersucht. Ebenso ist daran gedacht, die Freisetzungsraten unter Drucklastwechseln - "Atmen" des Bergwerks - zu studieren.

Eingangsuntersuchung an sechs MAW-Abfallfässern aus der WAK

Für die Versuchszwecke wurden von der WAK sechs 200-l-MAW-Abfallfässer zur Verfügung gestellt. Aufbau und Inhalt der Abfallfässer sind in dem vorangegangenen Beitrag ausführlich beschrieben worden.

Nach Annahme der Abfallfässer in der KFA-Jülich wurden die Gebinde einer Eingangsuntersuchung unterzogen. Ziel der Eingangsuntersuchung war es, die in der Zwischenlagerzeit in den Faßgasraum freigesetzten Aktivitäten an Tritium und an Kr-85 und die freigesetzten Radiolysewasserstoffmengen experimentell zu ermitteln.

Zum Zeitpunkt der Eingangsuntersuchung waren die 200 l-Fässer über einen Zeitraum von 96-131 Tagen seit ihrer Verdeckelung gasdicht verschlossen. Während dieser Zwischenlagerzeit haben sich die aus der Zementsteinmatrix freigesetzten gasförmigen Aktivitätsträger und der freigesetzte Wasserstoff in dem freien Gasraum der 200 l-Fässer angesammelt. Der freie Gasraum hat ein Volumen von ca. 89 dm^3 .

Für die Eingangsuntersuchung wurden die sechs MAW-Abfallfässer in die Zelle 505 der Großen Heißen Zellen (GHZ) der KFA-Jülich transportiert. Mit Hilfe eines Schlagschraubers wurden die äußeren Faßdeckel entfernt. In dieser Situation ist der freie Gasraum der Fässer noch durch den inneren Faßdeckel gasdicht verschlossen. Der innere Faßdeckel wurde mit Hilfe einer fernbedienbaren Bohrvorrichtung mit zwei Bohrungen versehen. In diese Bohrungen wurden zwei Gasentnahmesonden eingesetzt. Die Sonden waren über Schlauchleitungen mit einer Gasanalyseapparatur verbunden, die sich außerhalb der Heißen Zelle befand. Bei diesem "Punktieren" der Fässer wurden Vorkehrungen getroffen, daß die Vermischung des Faßgases mit Zellenluft vernachlässigbar blieb.

Der experimentelle Aufbau ist in Abb. 2 schematisch dargestellt.

Nach der Herstellung der Verbindungsleitungen wurde das Faßgas zunächst durch Umpumpen homogenisiert. Die in dem Gasstrom mitgeführte Luftfeuchte wurde dabei in dem Ausfriergefäß zurückgehalten. Das ausgefrorene Wasser wurde durch Destillation von β - γ -aktiven Spaltprodukten gereinigt. Die Tritiumaktivitätskonzentration des Wassers wurde mit Hilfe der Flüssigszintillationstechnik anhand von Meßproben ermittelt. Die Kr-85-Aktivitätskonzentration des Faßgases wurde γ -spektrometrisch mit einem hochauflösenden GeHP-Detektor ermittelt. Zur Erhöhung der Nachweisempfindlichkeit der Meßanordnung wurde der in der Abb. 2 gezeigte Druckbehälter mit dem Faßgas bis zu einem Druck von 6,0 bar beaufschlagt. Der quantitative Nachweis der Kr-85-Aktivitätskonzentration erfolgte über eine Auswertung der 514 KeV-Linie des Kr-85 in den aufgenommenen γ -Spektren. Das in dem Druckbehälter abgefüllte Faßgas wurde als Gasprobe für die gaschromatographische Analyse der Gasbestandteile verwendet.

Ergebnisse der Eingangsuntersuchung

Die Ergebnisse der Eingangsuntersuchung sind in der Abb. 3 zusammengestellt.

Beim "Punktieren" der 200 l-Fässer wurde mit Ausnahme des Strukturteilefasses beobachtet, daß beim Durchbohren des Faßdeckels in gewissem Umfang Zellenluft in die Fässer hineinströmte. Daraus wird der Schluß gezogen, daß in den Fässern zum Zeitpunkt der Eingangsuntersuchung - ca. 3 - 4 Monate nach der Verdeckelung - ein gewisser Unterdruck herrschte, der aber nicht quantifiziert werden konnte. Das Strukturteilefaß war in der Zwischenlagerzeit vermutlich infolge einer Überdruckentwicklung undicht geworden. Dies konnte man daran erkennen, daß der innere Faßdeckel nach der Entfernung des äußeren Deckels auf der Faßdichtung lose auflag. Außerdem hatte sich die auf dem Faßflansch aufgeklebte Gummidichtung teilweise abgelöst. Da offensichtlich ein unbekannter Anteil des Faßgases während der Zwischenlagerzeit aus dem Faß entwichen ist, mußte im Fall des Strukturteilefasses auf eine Gasanalyse verzichtet werden.

In der dritten Spalte der Abb. 3 wird die Kr-85-Aktivität ausgewiesen, die im Rahmen der Eingangsuntersuchung im freien Gasraum der entsprechenden Fässer nachgewiesen wurde. In der Zwischenlagerzeit hat sich im freien Gasraum der beiden Hüllenfässer eine Kr-85-Aktivität von 5,8 m Ci bzw. 10 m Ci angesammelt. Die Temperatur der Fässer wurde während der Zwischenlagerzeit nicht erfaßt. Es wird aber angenommen, daß die Lagertemperatur näherungsweise Raumtemperatur entspricht.

Es ist bekannt, daß ausgelaugte Zircaloy-Hüllrohre in einer wenige μm dicken inneren Korrosionsschicht in hoher Konzentration Kr-85 enthalten. Dieses resultiert aus Spaltungen, die sich in der äußeren Randzone des Brennstoffs ereignen und die neben allen anderen Spaltprodukten auch Kr-85-Atome durch Rückstoß in diese Korrosionsschicht implantieren. Ein korrosiver Angriff des stark alkalischen Zementleimes auf die inneren Oxidschichten der Hüllrohre scheint uns die plausibelste Erklärung für die relativ hohen Kr-85-Freisetzen in das Faßgas zu sein.

Unter der Annahme, daß die Kr-85-Freisetzung zeitlich konstant ist, kann aus der freigesetzten Aktivität und der Lagerzeit eine Freisetzungsrates ermittelt werden. Vergleicht man die so berechneten Kr-85-Freisetzungsrates mit Ergebnissen ähnlicher Untersuchungen ¹⁾ an vergleichbaren Hüllenfässern, so liefern unsere Ergebnisse je nach Rechnungsart um den Faktor 6 - 20 höhere Freisetzungsrates. Die Ursache für diese Diskrepanz ist bisher nicht aufgeklärt.

Die drei FKS-Fässer ergeben Kr-85 Freisetzen im Bereich von 0,77 - 2,3 m Ci.

1) die angesprochenen Untersuchungen wurden in der Abteilung Ingenieurtechnik (IT) des Kernforschungszentrums Karlsruhe an WAK-Hüllenfässern durchgeführt.

Brennstofflößerrückstände enthalten neben Edelmetallausscheidungen auch unaufgelöste Brennstoffpartikel und Zr-Abrieb, der beim Scheren der Brennstäbe entsteht. Die beiden letztgenannten Anteile im Feed-Klärschlamm enthalten Kr-85.

Es ist denkbar, daß diese Materialien teilweise durch den Zementleim unter Freisetzung des gebundenen Kr-85 "aufgeschlossen" werden.

Die Tritium-Aktivitätskonzentration des ausgefrorenen Wassers bzw. der Faßfeuchte wird in der vierten Spalte angeführt. Unterstellt man, daß die Faßatmosphäre mit Feuchte bei Raumtemperatur gesättigt ist, dann kann man aus den Angaben die H-3-Aktivitätskonzentration des Faßgases berechnen.

(1 n Ci/ml Wasser \approx 17,3 n Ci/m³ Faßgas bei 20°C)

Betont sei in diesem Zusammenhang, daß bei der Eingangsuntersuchung nur die tritierte Feuchte erfaßt wurde und originär gasförmige Tritiumverbindungen wie HT nicht berücksichtigt wurden. Die Tritiumaktivitätskonzentration in den Faßgasen ist in allen Fällen gering und deshalb für die sicherheitstechnische Betrachtung der Bohrlocheinlagertechnik von untergeordneter Bedeutung.

Als Bestandteile des Faßgases wurden die Gaskomponenten N₂, O₂, H₂ und bei den FKS-Fässern CH₄ gaschromatographisch nachgewiesen. Beim Verdeckeln der Fässer war das freie Volumen mit atmosphärischer Luft (78 % N₂, 21 % O₂, 1 % Ar) gefüllt.

Nimmt man an, daß der N₂-Partialdruck in den Fässern über die Zwischenlagerzeit konstant bleibt, so ist eine Zunahme der N₂-Konzentration über die natürliche Luftkonzentration von 78 % hinaus gleichbedeutend mit einer Abnahme des Gesamtdrucks. Insofern wird der bei der "Punktierung" beobachtete Faßunterdruck durch die Ergebnisse der Gasanalyse bestätigt. Auf Grund der N₂-Bilanz ergeben sich Faßinnendrucke für die Hülsefässer von ca. 850 m bar und für die FKS-Fässer-Drücke im Bereich von 930 - 1000 mbar. Die so errechneten Innendrucke decken sich qualitativ mit unseren Beobachtungen beim "Punktieren" der Fässer.

Als Ursache für die beobachtete Unterdruckentwicklung ist der Verlust an Luftsauerstoff vermutlich infolge von strahlungs-induzierten Oxidationsprozessen (Ozon-Bildung) anzusehen.

- Ermittlung des Faßinnendruckes als Funktion der Lagerzeit bei Raumtemperatur (Zwischenlagerung)
- Ermittlung des Faßinnendruckes unter Temperaturbedingungen im Bohrloch; max. 90° C (Bohrloch-Einlagerphase)
- Analyse der Gasbestandteile der Faßatmosphäre
 - H₂ Korrosion
 - H₂ Radiolyse
- Ermittlung von Freisetzungsraten in die Faßatmosphäre an leicht flüchtigen Radionukliden H-3, C-14, Kr-85, Aerosole
 - unter Zwischenlagerbedingungen, 20° C,
 - unter Einlagerbedingungen, max. 90° C
- Ermittlung max. möglicher Freisetzungsmengen an flüchtigen Radionukliden unter extremen Bedingungen

Abb. 1: Zusammenstellung der Versuchsziele des Gasfreisetzungsexperiments

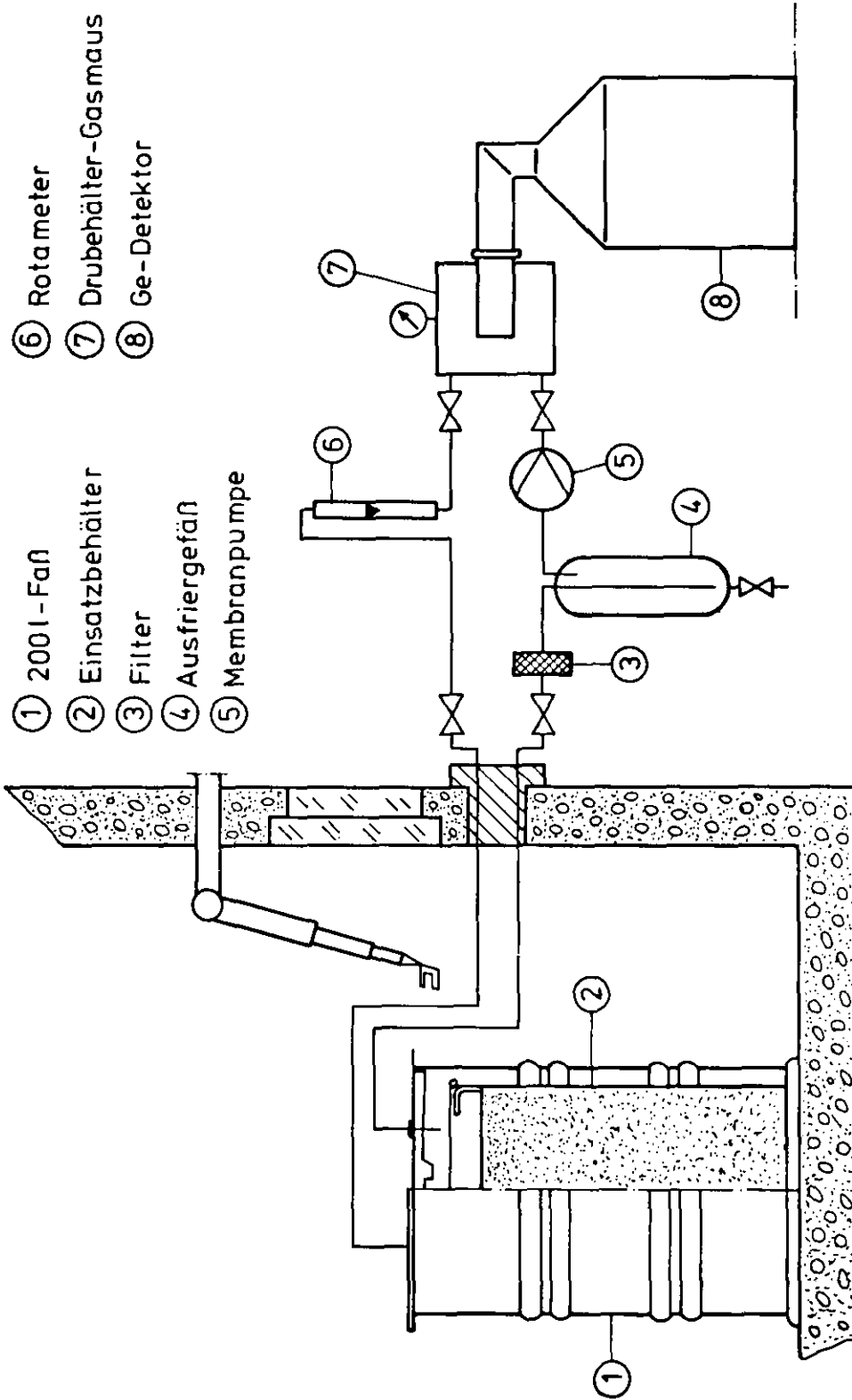


Abb. 2: Eingangsuntersuchung an MAW-Abfallfässern; schematische Darstellung der Versuchsanordnung

MAW	GKN BE	A _{Kr-85} mCi	A _{H-3} nCi/ml	Gaskomponenten			D _{Ly} 0,1 m R/h ¹⁾	D _{Ly} 1,0 m R/h ¹⁾
				N ₂ %	O ₂ %	H ₂ %		
Strukturteile	BE 187	NA ²⁾	–	–	–	–	3000	250
BE-Hülsen	BE 187	10	67	93	7,4	1,7	600	52
BE-Hülsen	BE 190	5,8	42	94	4,6	0,53	700	55
FKS	BE 187	0,77	16	85	8,4	5,0	30	1,7
FKS	BE 190	2,3		79	5,2	9,8	55	3,5
FKS	BE 182	1,56	0,29	84	6,2	5,8	38	3,5

¹⁾ gemessen von der Faßoberfläche

²⁾ nicht analysiert, da Faß undicht

Abb. 3: Ergebnisse der Eingangsuntersuchung an sechs MAW-Abfallfässern

Radiolysegasproduktion in homogen zementiertem Feedklärschlamm

P. OFFERMANN, HAHN-MEITNER-INSTITUT (BERLIN)

Herr Brücher hat Ihnen dargelegt, daß die zu entwickelnde Einlagerungstechnik Gültigkeit haben soll für das derzeit aktuelle Referenzkonzept, d.h. für die Lagerung von zementierten Abfällen;

und Sie haben bereits in dem Vortrag von Herrn Kroth gehört, daß in den Fässern verschiedene Gase freigesetzt werden, wobei der radiolytisch gebildete Wasserstoff wegen seiner Entzündbarkeit verstärkte Aufmerksamkeit verdient.

Das Referenzkonzept sieht eine homogene Zementierung vor - und ich will am Beispiel des homogen zementierten Feedklärschlammes (FKS) die grundlegenden Mechanismen der Radiolysegasproduktion vorstellen und einen Eindruck geben von der möglichen Gefährdung durch Wasserstoff.

Bild 1

Die homogene Zementierung des FKS ist ein sehr einfaches Verfahren, bei dem man mehr oder weniger in einem Schritt zum Endprodukt gelangt.

Die Feststoffe aus dem Auflöser werden dabei in einer Zentrifuge abgeschieden und das bei ihrer Reinigung verwendete Spülwasser wird dann direkt zur Zementherstellung verwendet. Auch wenn bisher wenig Erfahrung mit einer Zentrifuge im heißen Betrieb vorliegt, soll hier davon ausgegangen werden, daß die Suspension, die bei der Spülung anfällt, im Mittel 20 g Feststoffe pro Liter enthält, d.h. daß es gelingt mit jeweils 600 Litern verdünnter Salpetersäure 12 kg Feststoffe aus der Zentrifuge zu entfernen. Auch wenn bei der Zentrifugenspülung höhere Feststoffgehalte anfallen, wird es nötig sein, eine feste Konzentration einzustellen, um ein gleichbleibendes Produkt zu garantieren. Die Suspension wird mit Zement und eventuell einigen Zuschlägen vermengt und direkt ins Faß gegossen.

Bild 2

Damit sich die Mischung sicher gießen läßt, ist ein Gewichtsverhältnis von Wasser zu Zement größer als 0.4 erforderlich.

Das Endprodukt hat dann eine Dichte von ca. zwei Gramm pro Kubikcentimeter, und wenn man davon ausgeht, daß ein Faß im Mittel zu 90% gefüllt ist, so ergeben sich je nach den verwendeten Zuschlägen -d.h. z.B. Sand oder Kies - Feststoffmengen zwischen 4.5 und einem Kilogramm pro Faß; diese Zahlen sind für homogene Zementgebände in 400 Liter Fässern typisch und ohne weitere verfahrenstechnische Maßnahmen läßt sich daran auch wenig ändern.

Unabhängig davon, welche Zuschläge gemacht werden, ist es der homogenen Zementierung eigen, daß sich die eingebundenen Radionuklide dort befinden, wo auch das Wasser ist. Ich will hier nicht auf den Aufbau des Zements im Detail eingehen. Jedenfalls befindet sich das Wasser in einem System sehr feiner Poren und dient zum überwiegenden Teil der Hydratisierung des Trockenzements, wodurch er ja seine Festigkeit erhält. Der Rest bleibt praktisch ungebunden und die Gasporosität liegt bei den meisten Zementsteinen bei nur wenigen Prozent.

Vom radiochemischen Standpunkt aus gesehen gibt es keine Gründe, nicht anzunehmen, daß sich das Wasser im Zement primär so verhält wie normales Wasser, - und dessen radiolytische Eigenschaften sind gut bekannt.

Für die Endlagerung von homogen zementierten Abfällen ergibt sich damit generell das Problem der Spaltung des Wassers im Strahlenfeld

Bild 3

Insbesondere ist die Frage zu stellen: Wieviel Wasserstoff wird wie schnell gebildet, und für ein verschlossenes Endlager ist noch zu bedenken, ob auch andere Gase in größerer Menge produziert werden.

Ich will mich hier im wesentlichen auf die Wasserstoffproduktion konzentrieren und danach fragen, wodurch sie im Zementstein möglicherweise beeinflusst wird oder beeinflusst werden kann.

Weitgehende Einigung herrscht unter Strahlenchemikern darüber, was primär passiert.

Bild 4

Im Strahlenfeld wird das Wasser ionisiert und angeregt. Es entstehen energiereiche Ionen, Elektronen und Radikale, die sehr schnell weiter reagieren, wobei überwiegend H_3O^+ , sog. solvatisierte, d.h. an Wasser gebundene Elektronen und OH-Radikale entstehen. Erst in den Folgereaktionen entfaltet sich dann das ganze Spektrum der beobachteten Reaktionsprodukte, und das sind fast alle Kombinationen, die man sich aus H und O vorstellen kann. Wegen der hohen Reaktionsgeschwindigkeiten können erst in diesen letzten Prozess im Wasser gelöste Stoffe

eingreifen, und auch nur dann, wenn sie in ziemlich hoher Konzentration vorliegen.

Bild 5

Für die Wasserstoffbildung sind überwiegend zwei Reaktionen verantwortlich, nämlich die Kombination von solvatisierten Elektronen - das ist die erste Reaktion auf dem Bild - und ihre Reaktion mit den Wasserstoff - Radikalen, die überwiegend bei der Kombination mit H_3O^+ entstehen. Die direkte Kombination von Wasserstoffradikalen ist nur von Bedeutung, wenn sie in sehr hoher Konzentration vorliegen.

Wichtig für das Verständnis des Folgenden ist dabei, daß als Zwischenprodukt in der zweiten Reaktion auch atomarer Wasserstoff auftritt.

Bild 6

Der Umsatz bei den Reaktionen hängt natürlich ab von der absorbierten Strahlungsenergie und wird durch den sog. G-Wert charakterisiert. Er gibt an, wieviele Moleküle oder Radikale pro 100 eV gebildet oder vernichtet werden. Für die einzelnen Reaktionsprodukte sind die G-Werte in wässrigen Systemen eingehend untersucht worden. Für β - und γ -Strahlung können die hier gezeigten Werte als gesichert gelten. Sie sehen, daß die molekularen Produkte, d.h. Wasserstoff und H_2O_2 , in der Minderheit sind im Vergleich zu den Radikalen, aber keineswegs ist ihre Entstehungsrate vernachlässigbar.

Für den Verbrauch von Wasser ergibt sich ein G-Wert von ungefähr 4. Insgesamt muß natürlich eine Materialbilanz gelten.

Bild 7

Die molekularen Ausbeuten hängen nun stark ab von der Art der Strahlung. Sie sind umso höher, je größer das Bremsvermögen des Wassers für die Strahlung ist. Es läßt sich für die einzelnen Strahlenarten als Funktion der Energie berechnen. In der strahlenchemischen Literatur wird es gern mit LET abgekürzt, was linearer Energietransfer heißen soll.

Sie sehen, daß für Strahlung mit kleinen LET-Werten die molekularen Ausbeuten niedrig sind, während etwa für die typischen α -Teilchen aus den Aktiniden mit 5 bis 10 MeV bei der Zerlegung des Wassers 90% molekulare Produkte entstehen.

Die Ursache dafür wird darin gesehen, daß bei der Abbremsung eines Teilchens mit hoher LET die Primärprodukte in einem sehr kleinen Volumen gebildet werden und dort wegen der hohen Konzentration eher mit sich selbst reagieren. Sie können dann nicht ins Lösungsvolumen diffun-

dieren, wo mit der Kombination von Primärprodukten die Reaktionen mit dem Wasser und den gelösten Stoffen konkurrieren.

Der G-Wert für Wasserstoff nimmt daher mit steigender LET zu und hat für α -Strahlung mit 5 bis 6 MeV etwa den dreifachen Wert - verglichen mit G-Werten bei β - und γ -Strahlung.

Bei den genannten G-Werten handelt es sich um Primärraten, die unmittelbar auf die Strahleneinwirkung zurückzuführen sind. Was nun in einem realen System also z.B. im Zement, tatsächlich an Wasserstoffproduktion auftritt, hängt davon ab, wieviel Energie im Wasser absorbiert wird, ob sich irgendwo noch sog. Radikalfänger befinden und ob es sich um ein geschlossenes System handelt oder ein offenes, aus dem der Wasserstoff entweichen kann.

Bild 8

Es findet nämlich stets eine Rückbildung von Wasserstoff statt und zwar einerseits durch die Reaktion mit den im Strahlenfeld stets vorhandenen OH-Radikalen, wobei wieder Wasser entsteht, und andererseits dadurch, daß die solvatisierten Elektronen und auch die H-Radikale bei der Wasserstoffbildung beteiligt sind. Beide reagieren jedoch auch leicht mit Stoffen, die sich reduzieren lassen, d.h. ein freies Elektron aufnehmen können. Man nennt diese Stoffe allgemein Radikalfänger. Zu ihnen gehört zum Beispiel auch der bei Anwesenheit von Luft stets im Wasser gelöste Sauerstoff, der wegen seiner zwei ungepaarten Elektronen sogar recht reaktionsfreudig ist. In einem geschlossenen System ist daher oft mit einer Verarmung von Sauerstoff in der Gasatmosphäre zu rechnen, was auch zu Unterdruck führen kann.

Während also die Reaktion mit dem OH-Radikal den Wasserstoff wieder abbaut, sorgen die Radikalfänger dafür, daß er gar nicht erst entsteht. Solange genügend OH-Radikale gebildet werden, stellt sich daher in geschlossenen Systemen grundsätzlich eine Gleichgewichtskonzentration ein.

Bild 9

Nur am Rande sei vermerkt, daß in reinem Wasser dieser Reaktionsmechanismus so effektiv ist, daß praktisch überhaupt kein Wasserstoff darin zu finden ist. Die molekularen Produkte der Radiolyse reagieren hier mit den Radikalen und bilden in summa durch Kombination wieder Wasser. Nur Strahlung mit hoher LET, wenn nämlich die molekularen Produkte in der Überzahl sind, kann Wasser fortlaufend zerlegen.

Zurück zur Zementierung.

Da nun bei der Zentrifugenspülung eine salpetersaure Lösung verwendet wird, befindet sich in den Zementgebinden stets eine gewisse Menge Nitrat. Das Nitration ist jedoch als Radikalfänger bekannt. Seine Wirkung läßt sich besonders gut beobachten, wenn z.B. ein α -Strahler mitgelöst wird.

Bild 10

Hier sehen sie Messungen, die in den USA mit Curium dotierten Lösungen gemacht wurden. Der G-Wert von Wasserstoff, für den ohne Nitrat etwa 1.4 gefunden wurde, fällt mit zunehmender Nitratkonzentration merklich ab. Bei großen Konzentrationen, d.h. oberhalb von 10 mol/l mißt man nur noch ein Zehntel der anfänglichen Wasserstoffproduktionsrate. Bei der Verwendung von Nitraten als Radikalfänger gibt es aber sozusagen auch Nebenwirkungen; sie sind also nicht unbedingt das Mittel der Wahl. Nicht nur durch α -Teilchen, auch durch β - und γ -Strahlung wird nämlich das Nitration direkt radiolytisch zerlegt, wobei Sauerstoff gebildet wird, der dann in einem geschlossenen System merklich zum Gesamtgasdruck beiträgt. Die G-Werte des Sauerstoffs sind bei hohen Nitratkonzentrationen in der gleichen Größenordnung wie beim Wasserstoff ohne Nitrat, vielleicht auch noch ein wenig größer.

Da - jedenfalls am Anfang - in einem radioaktiven Abfallgebinde die β - und γ -Strahlung überwiegt, stellt sich zunächst für den Wasserstoff wegen der Reaktion mit dem OH-Radikal ein Gleichgewichtsdruck ein.

Wiederum nach amerikanischen Messungen,

Bild 11

die ich Ihnen in diesem Bild zeige, ist dieser Gleichgewichtsdruck von der Dosisleistung abhängig. Die Untersuchungen sind an Zement gemacht worden, jedoch mit recht hohen Dosisleistungen, damit sich in kurzer Zeit ein Meßeffect ergab. Die Daten lassen sich nur sehr schwer zu kleinen Dosisleistungen extrapolieren. Wie ich noch zeigen werde, liegen die diskutierten Feedklärschlammgebinde unter $2 \cdot 10^4$ rad pro Stunde. Der Gleichgewichtsdruck sollte hier so um ein bis zwei Atmosphären liegen. Ich möchte allerdings darauf hinweisen, daß diese oft zitierten amerikanischen Untersuchungen mit etwas Vorsicht zu betrachten sind, da die Proben als Abfallsimulat erhebliche Mengen Eisen- bzw. Manganoxid enthalten. Beide können leicht vom atomaren Wasserstoff reduziert werden, sodaß die unter diesen Bedingungen ermittelten G-Werte nicht ohne weiteres übertragbar sind. Es ist aber anzunehmen, daß die Tendenz der Dosisleistungsabhängigkeit auch für andere Systeme gilt.

Für die Abschätzung der Dosisleistung in einem Feedklärschlammgebinde legt man die üblichen Referenzdaten von abgebrannten Brennelementen zugrunde.

Bild 12

Wenn ich im folgenden Zahlen nenne, so beziehen sie sich auf diese Werte, insbesondere wird stets eine siebenjährige Kühlzeit nach Reaktorenentnahme vorausgesetzt.

Die chemische Zusammensetzung des Feedklärschlammes

Bild 13

ist aus der Erfahrung mit der Wiederaufarbeitung von solchen Brennelementen im wesentlichen bekannt. Er besteht zu 60-70% aus Spaltprodukten. Zum Langzeitverhalten tragen überwiegend ungelöste Brennstoffreste bei. Außerdem enthält der FKS Brennstababfälle und Korrosionsprodukte aus dem Primärkreislauf eines Reaktors. Sie tragen aber kaum zur Aktivität bei.

Bei den Spaltprodukten sind das Ru und sein Tochternuklid in den ersten Jahren nach der Wiederaufarbeitung die Hauptaktivitätsträger und auch Quelle der Dosisleistung. Damit ergibt sich kurz nach der Herstellung eine

Bild 14

Wärmeleistung von 5-10 mW pro g FKS. Die Schwankungsbreite ergibt sich im wesentlichen aus dem Anteil Ruthen, der sich im FKS befindet. Die Meinungen darüber liegen zwischen 50 und 100 % vom Gesamt-Ruthen. Sie sehen, daß der überwiegende Anteil aus β -Zerfällen herrührt. Der α -Anteil ist am Anfang vernachlässigbar, jedoch auch langfristig wirksam. Nach über 1000 Jahren überwiegt er. In einem 400 l Zementgebinde wird nun die Strahlung des Feedklärschlammes zu über 90 % absorbiert, und die Dosisverteilung ändert sich über den ganzen Radius kaum. Nur direkt am Rand des Fasses fällt sie auf etwa 40% ihres maximalen Werts. Für eine Abschätzung der Radiolysegasproduktion kann man daher davon ausgehen, daß die gesamte Strahlung absorbiert wird und die Dosis örtlich konstant ist.

Daten zur Radiolysegasproduktion in homogen zementiertem Feedklärschlamm existieren noch nicht. Es sind jedoch umfangreiche Untersuchungen an Laborproben - sowohl in der KfK als auch im HMI - durchgeführt worden, meist unter Verwendung externer Strahlenquellen.

Es ist müßig hier alle Daten aus diesen Untersuchungen aufzulisten.

Bild 15

Die G-Werte von nitratfreien Zementproben sind stets ähnlich dem von reinem Wasser, wenn man annimmt, daß sich die absorbierte Dosis wie die Gewichtsanteile auf Wasser und Zement verteilt. Statt der Ausbeuten pro 100 eV gibt man dabei die G-Werte gerne in Normcubikcentimeter pro $10^8 \text{ rad} \cdot \text{g}$ an.

Für β - und γ -Strahlung bekommt man mit den vorhin genannten G-Werten in reinem Wasser 9.3 ml pro 10^8 rad und g Wasser. In einem Zementstein ergibt sich dann mit einem W/Z -Wert von 0.43, daß 0.32 ml pro 10^8 rad und g Zementstein gebildet werden. Tatsächlich wurde dieser Wert auch überwiegend gemessen, wobei sich nur kleine Abweichungen etwa bei unterschiedlicher Aushärtezeit des Zements oder beim Zusatz von Fließmitteln ergaben. Die Verteilung entsprechend den Gewichtsanteilen läßt sich auch ungefähr verstehen, da an den Bremsvorgängen fast ausschließlich Elektronen beteiligt sind. Bei nicht zu hohen Massenzahlen ist ihre Anzahl dem Gewicht proportional. Erwartungsgemäß zeigte sich bei allen Messungen die starke Abnahme der Wasserstoffproduktion bei hohen Nitratgehalten. Oberhalb von 5 Gewichtsprozent Nitrat im Zementstein konnte eine Reduzierung bis zu einem Faktor zehn beobachtet werden.

Leider liegen noch keine Untersuchungen mit internen β - und γ -Quellen im Zementstein vor und auch keine abschließenden Untersuchungen, inwieweit der Feedklärschlamm selbst als Radikalfänger wirkt. Wenn man seine Zusammensetzung betrachtet, sollte er dazu eigentlich in der Lage sein. Allerdings kann seine Konzentration wegen der nur begrenzt zulässigen Wärmeleistung eines Gebindes nicht beliebig erhöht werden. Das ist auch der Grund dafür, daß man die Fängerwirkung des Nitrats nur sicher nutzen kann, wenn man es als Zuschlag bei der Zementierung hinzufügt. Das Nitrat in der ursprünglichen Suspension reicht meist nicht aus, um eine maximal mögliche Reduzierung der Wasserstoffproduktion zu erreichen.

Der Wert für die α -Radiolyse sollte also etwa den dreifachen Wert haben. In den allerdings nicht sehr zahlreichen Laboruntersuchungen wurde für nitratfreie, mit Curium dotierte Zementproben ein Wert von 0.7 ml gemessen. Er hat auch Eingang gefunden

Bild 16

in die Abschätzungen, die bisher zur Wasserstoffentwicklung in einem 400 l Faß gemacht wurden. Für die Gasbildungsrate durch β - und γ -Strahlung nimmt man gerne einen Wert, der am oberen Rand der gemessenen Bandbreite liegt, das sind etwa 0.45 ml.

Diese spezifischen Werte sind also weder als besonders konservativ anzusehen noch enthalten sie einen Sicherheitsfaktor. Andererseits ist nicht zu erwarten, daß sie größer als in reinem Wasser sein können. Mit diesen Werten ergibt sich dann bei 4 kg FKS in einem 400l Faß mit einer Referenzzusammensetzung und den üblichen Hilfsmitteln zur Berechnung des zeitlichen Verlaufs der Dosis, daß im ersten Jahr 200 l und nach langer Zeit maximal 24 Kubikmeter Wasserstoff gebildet werden können. Die Rate ist am Anfang etwa 1l pro Tag. In den ersten Jahren, wenn die β - und γ -Radiolyse überwiegt, sollte sich aber schon ein Gleichgewichtsdruck einstellen, - natürlich vorausgesetzt, daß das Gas nicht aus dem Faß entweicht. Davon ist wegen der Strahlenbelastung der Faßdichtung aber eigentlich auszugehen, jedenfalls was den Wasserstoff angeht.

Das gezeigte Beispiel soll einen Eindruck geben von der zu erwartenden Größenordnung der Menge von radiolytisch gebildetem Wasserstoff. Unsicherheiten bei solchen Abschätzungen lassen sich vermeiden, wenn man die tatsächlich in ein Faß eingebrachte Menge FKS und die Nuklidanteile für die wichtigsten Komponenten kennt. Mit Nitrat errechnen sich natürlich kleinere Werte.

Es ist im Rahmen des hier vorgestellten Projekts geplant, durch Messungen an zementierten Auflöserückständen von abgebrannten Brennstäben einen realistischen und belastbaren Wert für die Anfangsrate der Wasserstoffbildung zu bekommen. Das wird allerdings wiederum nur an kleinen, dafür aber wohl charakterisierten Proben möglich sein.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß sich die Wasserstoffbildung bei der homogenen Zementierung natürlich nicht vermeiden läßt, daß aber die spezifische Rate eines Gebindes durch die Wahl der Zuschläge in gewissen Grenzen eingestellt werden kann.

Für eine Optimierung sind daher konkrete Anforderungen an ein Zementgebilde zu stellen. Die bloße Forderung, möglichst wenig Radiolysegas zu bilden, ist wenig hilfreich. Sie schließt wasserhaltige Gebinde eigentlich aus.

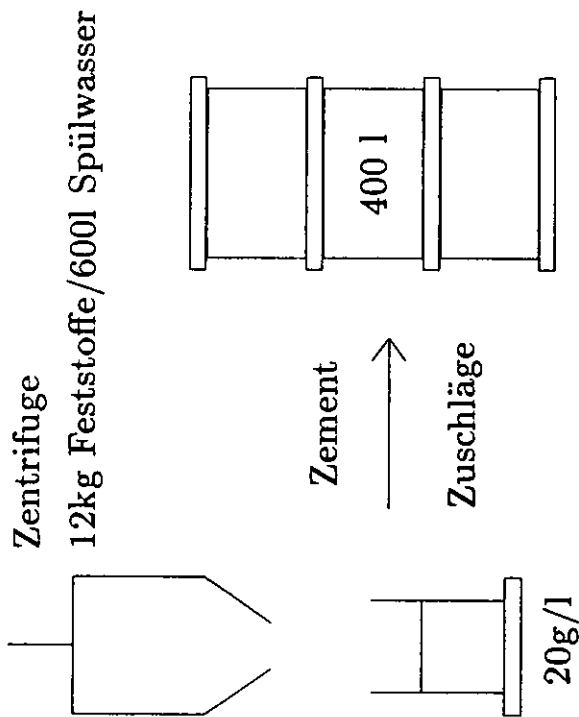
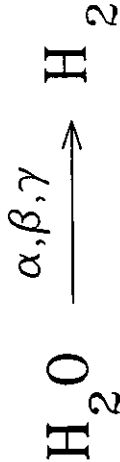


Bild 1

Homogene Zementgebinde

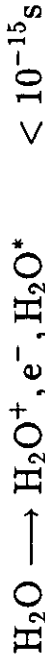
Wasser/Zement	0.4 – 0.45
Dichte	2g/cm ³
Füllhöhe	90%
FKS-Feststoffe	
in Zementstein	4.5kg
in Zementmörtel	2.2kg
in Zementbeton	1.0kg

Bild 2



Primärreaktionen

Ionisation und Anregung



Ion-Molekül-Reaktionen, Hydratisierung der Elektronen,
Dissoziation



Reaktionen von Radikalen mit hydratisierten Elektronen



Bild 3

Bild 4

Reaktionen zur H₂-Bildung

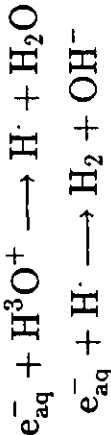


Bild 5

$$\text{G - Wert} = \frac{\text{Molekuele}}{100\text{eV}}$$

β, γ - Strahlung, $\text{pH} = 7$

$\text{G}(\text{e}^-_{\text{aq}})$	=	2.65
$\text{G}(\text{H}^\cdot)$	=	0.55
$\text{G}(\text{OH}^\cdot)$	=	2.7
$\text{G}(\text{H}_2)$	=	0.45
$\text{G}(\text{H}_2\text{O}_2)$	=	0.7
<hr/>		
$\text{G}(-\text{H}_2\text{O})$	=	4.1

Bild 6

Molekulare Zersetzung

Reduktion der H₂-Bildung

	LET(eV/Å)	G(H ₂ O ₂)	G(H ₂)	%
⁶⁰ Co	0.02	0.8	0.45	23
³ H	0.4	1.0	0.6	30
D ⁺ (8MeV)	3	1.2	1.05	
α(5.5MeV)	7	1.35	1.57	88
¹⁰ B(n, α) ⁷ Li	28			92



Radikalfänger

Oxydation von H[·] und e⁻_{aq}

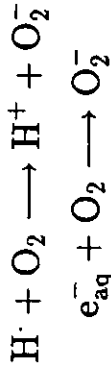


Bild 7

Bild 8

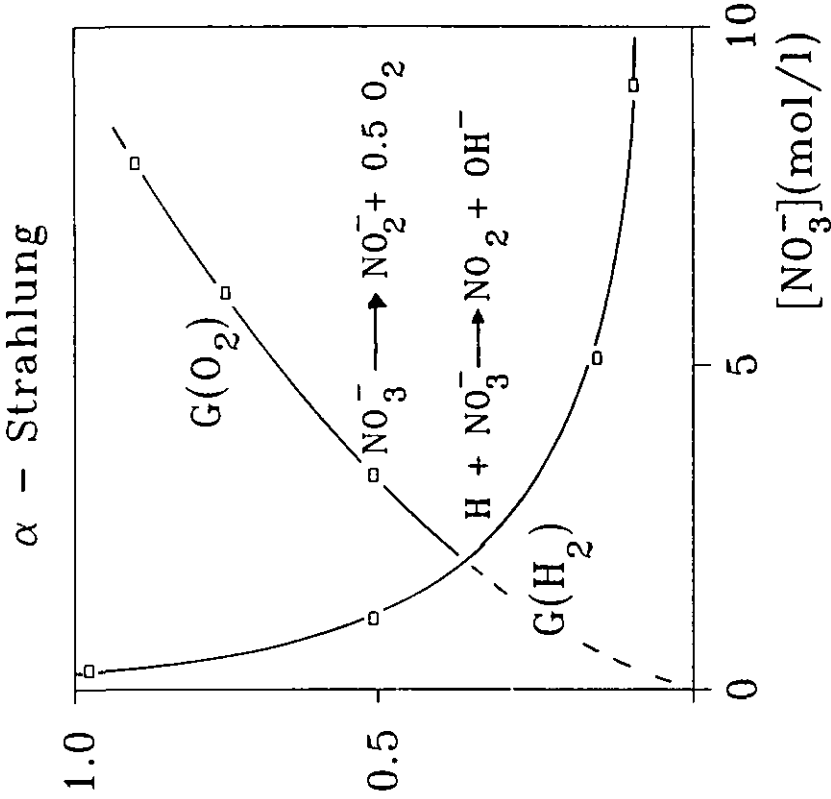


Bild 10

Reines Wasser

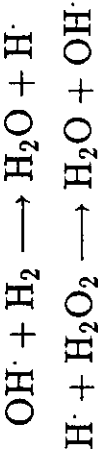


Bild 9

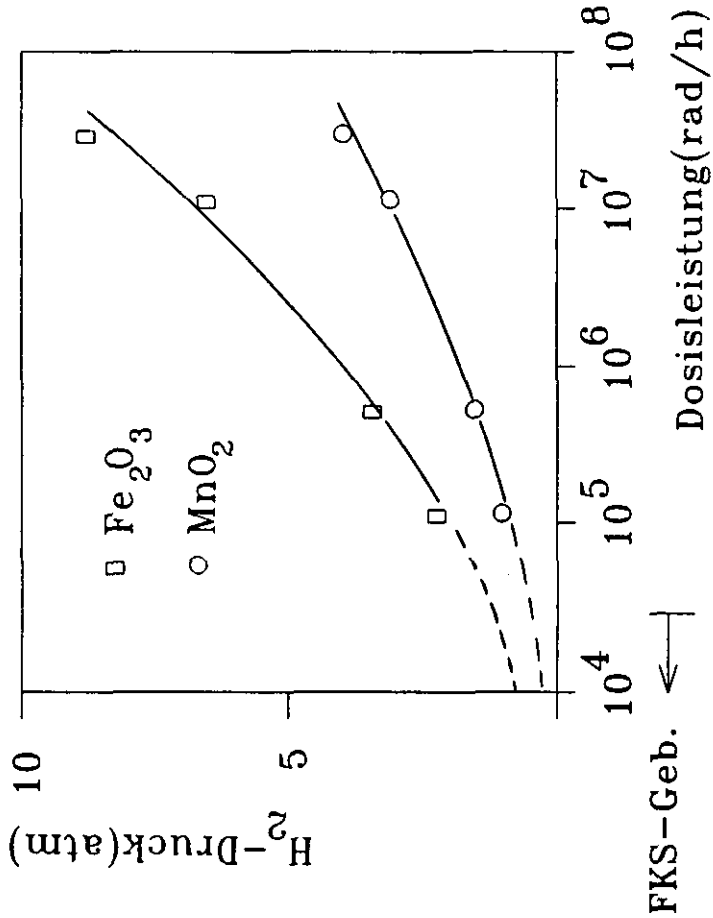


Bild 11

Brennelement und Brennstoff				
-	Typ	Standard		
-	Brennstoff	UO ₂		
-	Anfangsanreicherung	3.5%		
-	Abbrand	36000 MWd/t		
-	Standzeit	1000 d		
Wiederaufarbeitung				
-	Kühlzeit	7a		

Bild 12

Chemische Zusammensetzung von Feedklärschlamm

nicht gelöste Spaltprodukte	60-70 %
Brennstoffreste	U 0.05-5 %
	Pu 0.02-1 %
Brennstabreste	6-8 %
Korrosionsprodukte	10-20 %

Bild 13

Wärmeleistung/g FKS

Gesamt	5-10 mW
α	0.1-0.3 mW
β	3-7 mW
γ	2-3mW

Bild 14

$$G_{\text{Zementstein}} = \frac{W/Z}{1 + W/Z} \cdot G_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = 0.93 \text{ cm}_n^3 / 10^8 \text{ rad} \cdot \text{g Wasser}$$

$$W/Z = 0.43$$

$$G_{\text{Zementstein}} = 0.32 \text{ cm}_n^3 / 10^8 \text{ rad} \cdot \text{g Zementstein}$$

Bild 15

Integrale Dosis und Wasserstofffreisetzung

Lagerzeit(a)	Spaltprodukte	Dosis(rad)	H ₂ (m _n ³)
	Aktiniden		
1	4.9 · 10 ⁷	1.5 · 10 ⁶	0.2
10	2.7 · 10 ⁸	1.5 · 10 ⁷	1
100	9.7 · 10 ⁸	1.6 · 10 ⁸	4
1000	1.1 · 10 ⁹	8.1 · 10 ⁸	8
∞	1.8 · 10 ⁹	3.6 · 10 ⁹	24

4 kg Feedklärschlamm

$$\begin{aligned} \alpha - \text{Radiolyse} : & \quad 0.70 \text{ cm}_n^3 \text{ H}_2 / 10^8 \text{ rad} \cdot \text{g Zementstein} \\ \beta + \gamma - \text{Radiolyse} : & \quad 0.45 \text{ cm}_n^3 \text{ H}_2 / 10^8 \text{ rad} \cdot \text{g Zementstein} \end{aligned}$$

Bild 16

Vorläufige Ergebnisse ingenieurgeologischer Spezialkartierungen 1:200 und 1:100 im Aufschluß des MAW-Feldes der KfA. Jülich auf der 800 m - Sohle des Endlagerversuchsbergwerkes Asse II bei Remlingen, SE-Niedersachsen.

Professor Dr. H. Bottke
cand. geol. M. Olfers
Institut für Geologie und Paläontologie
der Technischen Universität Clausthal,
Abteilung für Ingenieurgeologie,
Leibnizstr. 10,
3392 Clausthal-Zellerfeld.

Die Spezialkartierungen 1:200 und 1:100 des untertägigen Streckenaufschlusses des MAW-Versuchsfeldes gehen aus von der Kartierung 1:1000 der 800 m-Sohle des Versuchsbergwerkes Asse II (1). Deren Ergebnisse stellen den salzgeologischen Rahmen des Versuchsfeldes im Kern des Asse-Hauptsattels dar. Die Auffahrung des MAW-Versuchsfeldes berücksichtigt seine salzstratigraphischen und salztektonischen Positionen in Nachbarschaft von den Streckenaufschlüssen des HAW-Versuchsfeldes und des BV-Feldes (Bohrlochverschlußfeldes) im gleichen Sohlenniveau.

1. Die salzstratigraphische Position des MAW-Versuchsfeldes liegt in einer etwa 60 m mächtigen Zone polyhalitischen Hauptsalzes (Na₂Bp). Diese Zone bildet den oberen Teil des im Asse-Hauptsalz mehrere hundert Meter mächtigen Hauptsalzes (Na₂B) der Staßfurt-Serie des Zechstein II (2).

Die Zone des polyhalitischen Hauptsalzes (Na₂Bp) wird überlagert von den Zonen des Speisesalzes (Na₂Sp) und des Polyhalitbänkchensalzes (Na₂P) mit salzpetro-stratigraphischen Normalmächtigkeiten von 22 m bzw. 12 m (3).

Zum Hangenden werden diese Halititfolgen durch geringmächtiges, kieseritisch-carnallititisches Übergangssalz und durch das carnallitische Kalilager Staßfurt als Endglieder einer progressiven Ausscheidungsfolge abgeschlossen (Carnallit: KCl MgCl₂ · 6 H₂O). Geringe, akzessorische Gehalte an Carnallit ($\leq 0,35$ Gew.%) und Kieserit ($\leq 0,13$ Gew.%) beschränken sich auf die Zonen Na₂P und Na₂Sp. Das Hauptsalz (Na₂B) ist davon frei (4).

2. Die salztektonische Position des MAW-Versuchsfeldes befindet sich im Kern des Asse-Hauptsattels. Dieser bildet auf der 800 m-Sohle einen breiten Sattel (F1) mit interner Spezialfaltung (5). Die tunnelartige Strecke ist etwa querschlägig zu den Spezialfalten, in Richtung SW - NE, aufgefahren worden. Über dem mittleren Teil des MAW-Feldes bildet eine Spezialmulde mit Speisesalz (Na₂Sp) das tektonische Hangende. Die nach ESE abtauchenden Spezialfalten des polyhalitischen Hauptsalzes (Na₂Bp) sind aufrechte bis schwach NE - vergente Sättel mit Meter bis Zehnermeter breiten Faltenweiten (F2, F3). Im nordöstlichen Teil des MAW-Feldes besteht ein Übergang in einen Breitsattel (F2).

Im Halitit mit anhydritisch-polyhalitischen Sulfatlagen (mm-cm) bestehen Kleinstfalten (F2,F5) sowie Lagenzerreißen. Diese belegen die interne, plastische Deformation des Halitits. Die Streckenkartierung 1:100 konnte als Darstellung von Sulfatlagenverteilungen drei faltentektonische Homogenitätsbereiche nachweisen. Diese begründen die Repräsentanz des Ansatzes von gefügeorientierten, felsmechanischen Versuchen sowie auch die Beurteilung von Verteilungen sulfatlagengebundener Tropflaugenverteilungen.

Die tektonische Position des MAW-Feldes befindet sich mit Hinblick auf Einlagerungsbohrungen unter dem Niveau der 800 m-Sohle in einer Massierung von halititischem Hauptsalz, welche nach Kernbohrungen bis über 1000 m Tiefe nachgewiesen ist.

AUSLEGUNGSRECHNUNGEN ZUM MAW-EINLAGERUNGSVERSUCH
IN DER SCHACHTANLAGE ASSE

H.-K. Nipp
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Stilleweg 2, 3000 Hannover 51

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Beim MAW-Einlagerungsversuch in der Schachtanlage Asse ist geplant, in einer Strecke auf der 800 m-Sohle insgesamt 10 echte Abfallgebinde rückholbar in drei unverrohrte Bohrlöcher einzulagern.

Insgesamt sind in der Strecke auf der 800 m-Sohle fünf Bohrlöcher für die versuchsweise Einlagerung vorgesehen (vgl. Abb. 1):

- 1 Bohrloch für die drei 200 l-Abfallfässer mit zementiertem Feedklärschlamm (3 m Stapelhöhe),
- 1 Bohrloch für die drei 200 l-Abfallfässer mit zementierten Hülsestücken bzw. Brennelementstrukturteilen (3 m Stapelhöhe),
- 1 Bohrloch für die vier AVR-Trockenlagerkannen (4 m Stapelhöhe),
- 1 Bohrloch für den inaktiven Vorversuch,
- 1 Reservebohrloch.

Die drei mittleren Bohrlöcher haben einen Abstand von 13 m voneinander, die beiden Bohrlöcher im Randbereich hingegen nur 10 m. In die Bohrlöcher von 1 m Durchmesser sowie 10 m Tiefe werden offene Korbgestelle eingesetzt, die die Führung und genaue Positionierung und damit Rückholbarkeit der Abfallgebinde gewährleisten sollen.

Zur Erzeugung eines endlagerrelevanten Temperaturfeldes sind in jedem Bohrloch Zusatzerhitzer vorgesehen, die im Bereich der Gebinde gleichmäßig verteilt am Korbgestell befestigt sind, ohne jedoch den Konvergenzfreiraum (11 cm bei Bohrloch 2 und 3, 14 cm bei Bohrloch 4) einzuschränken. Mit ihnen soll im 1. Versuchsjahr eine Temperaturerhöhung von mindestens 15 °C erreicht werden.

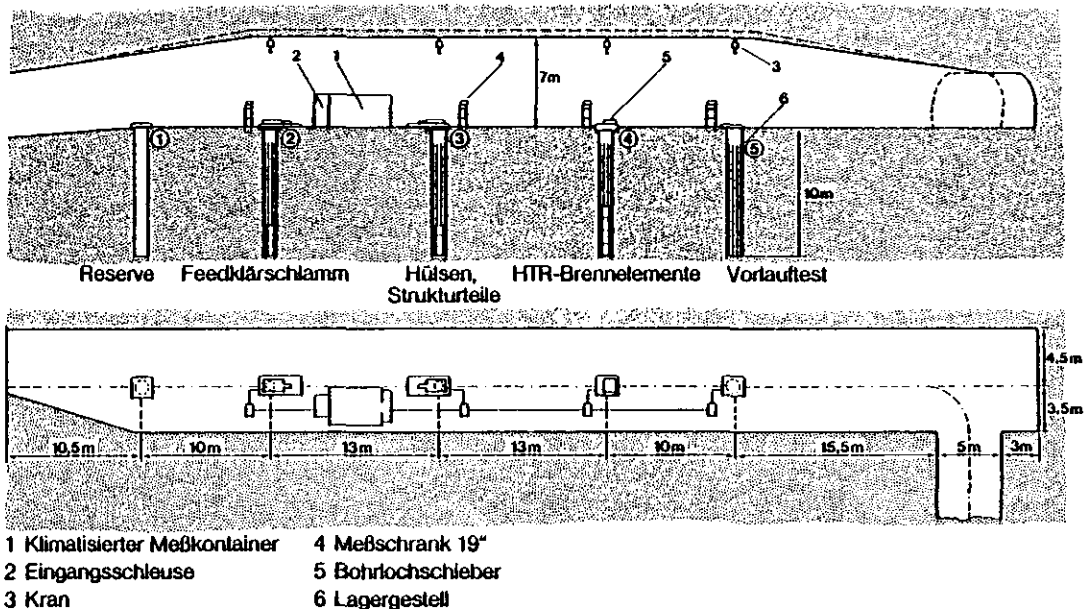


Abb. 1: Schematische Darstellung der MAW-Versuchsstrecke EV /1/

Die Wärmefreisetzung der Zusatzerhitzer und radioaktiven Abfälle wird wie folgt angenommen:

$$W = W_0 \cdot e^{-0,2 \cdot t}$$

mit: W_0 = Anfangsleistung in W/m
 t = Zeit in Jahren.

Dabei ist die Anfangsleistung W_0 so zu wählen, daß einerseits das gewünschte Temperaturniveau erreicht wird, andererseits der Konvergenzfreiraum ausreichend ist, um die Abfälle nach fünf Jahren sicher zurückholen zu können.

2. THERMISCHE VORBERECHNUNGEN

Die thermischen Vorberechnungen werden an einem rotationssymmetrischen Ersatzsystem durchgeführt. Der Berechnungsausschnitt erfaßt einen 8,5 m hohen Gebirgsbereich, der von der halben Stapelhöhe (1,5 m) bis zur Streckensohle reicht (vgl. Abb. 2). Die Abmessungen des Berechnungsmodells in radialer Richtung betragen 24 m, um einen Wärmerückstau an den als isoliert angenommenen Rändern und somit höhere Temperaturen im Bohrlochbereich zu vermeiden.

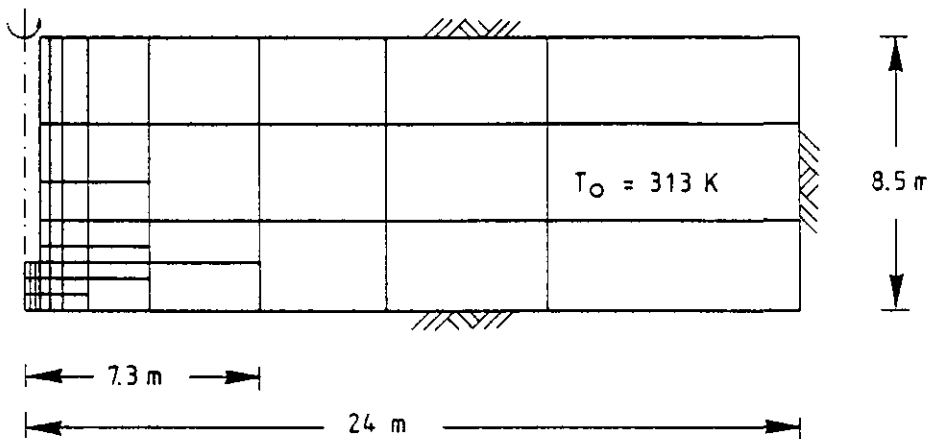


Abb. 2: FE-Netz für die thermischen Vorberechnungen

Die gewählten Leitfähigkeiten λ und spezifischen Wärmekapazitäten c_p für das Salzgebirge, den Luftspalt und die Gebinde ergeben sich aus Tab. 1. Die Konvektion und Strahlung im 12,5 cm breiten Luftspalt werden näherungsweise durch eine abgeschätzte effektive Wärmeleitfähigkeit erfaßt, die um den Faktor 15 bzw. 7,5 über den Normalwerten für trockene Luft liegt.

Die Gebirgstemperatur wird zu 313 K angenommen. Zur Bestimmung der Temperaturen im Bohrlochbereich werden drei verschiedene Anfangsleistungen (200 W/m, 300 W/m, 400 W/m) untersucht.

Die maximale Temperaturerhöhung im Wandbereich der Bohrung beträgt bei der 200 W-Variante ca. 10 °C, während bei der 300 W-Variante zumindest kurzfristig die gewünschte Temperaturerhöhung von 15 °C im ersten Jahr erreicht wird.

		Temperatur T				
		308	323	338	353	368
Steinsalz	λ	5,27	4,98	4,72	4,49	4,27
	cp	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
Luftspalt 1	λ	0,401	0,418	0,434	0,451	0,468
	cp	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013
Luftspalt 2	λ	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
	cp	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013
Gebinde	λ	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
	cp	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0

$T \text{ in K, } \lambda \text{ in } \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}, \text{ cp in } \frac{\text{W} \cdot \text{d}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}}$

Tab. 1: Thermische Materialeigenschaften

Bei der 400 W-Variante ergibt sich eine maximale Temperaturerhöhung im Wandbereich der Bohrung von ca. 21 °C (vgl. Abb. 3). Danach sinkt das Temperaturniveau langsam ab. Bei Versuchsende nach fünf Jahren beträgt die Temperaturerhöhung noch ungefähr 10 °C.

Ein Vergleich der Abb. 3 und 4 zeigt, daß die um 50 % reduzierte effektive Wärmeleitfähigkeit (Luftspalt 2) zwar zu wesentlich höheren Temperaturen im Gebindebereich (Linie 1 - 3) führt, die Temperaturen am Bohrlochrand (Linie 4) jedoch nicht beeinflußt. Das Temperaturmaximum beträgt in beiden Fällen ca. 334 K.

Die thermischen Vorberechnungen ergeben, daß für die Erzeugung des erforderlichen Temperaturniveaus im Bohrloch eine Anfangsleistung von 350 - 400 W/m erforderlich ist. Für die thermomechanischen Auslegungen wird daher die 400 W-Variante herangezogen.

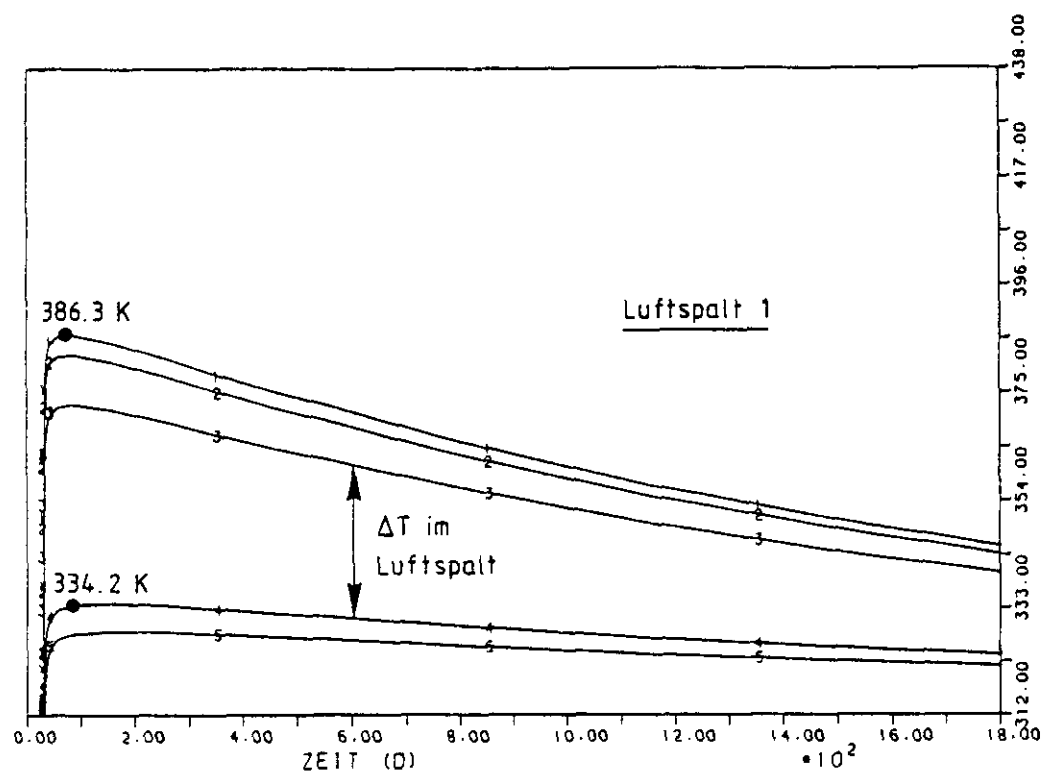


Abb. 3: Temperaturentwicklung im Bohrloch (Luftspalt 1)

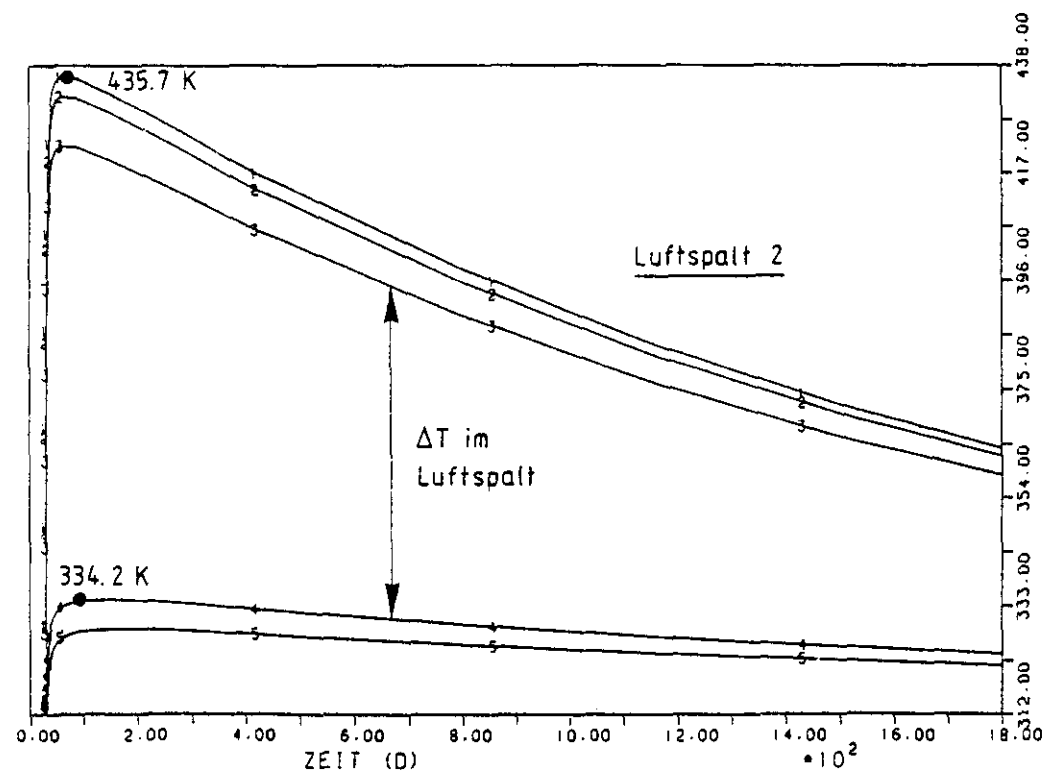


Abb. 4: Temperaturentwicklung im Bohrloch (Luftspalt 2)

3. THERMISCHE AUSLEGUNGSRECHNUNGEN

3.1 Bohrlochkonvergenz

Bei der Entwicklung des Berechnungsmodells wird davon ausgegangen, daß die Wärmefreisetzung in allen Bohrlöchern gleich ist. Somit läßt sich unter Ausnutzung der Symmetrieeigenschaften ein 13 m breiter Gebirgsbereich senkrecht zur Strecke heraustrennen, an dem die Temperatursausbreitung und Lastabtragung einer Einzelbohrung untersucht werden kann. Zur Vermeidung einer dreidimensionalen Berechnung für diesen 13 m breiten Gebirgsbereich wird im Sinne einer konservativen Abschätzung angenommen, daß auch in Längsrichtung der Scheibenebene senkrecht zur Strecke ein nur 13 m breiter Gebirgsbereich zur Verfügung steht. Durch diese vereinfachte Annahme läßt sich das räumliche System unter Ausnutzung der Rotationssymmetrie auf ein quasi ebenes Tragsystem zurückführen (Ersatzradius: $r = 7,3 \text{ m}$).

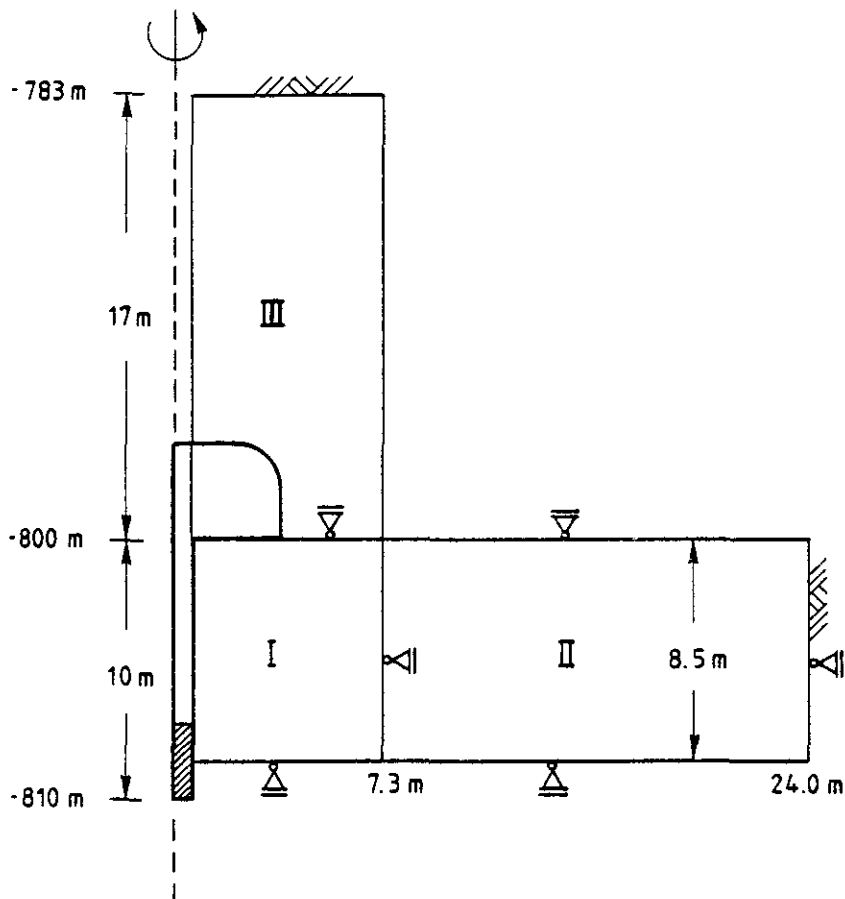


Abb. 5: Einteilung des rotationssymmetrischen Ersatzsystems in verschiedene Teilbereiche

Im rotationssymmetrischen Berechnungsmodell wird der Einfluß der Streckke auf die Bohrlochkonvergenz vernachlässigt, zumal der realistische Kraftfluß um die Strecke mit diesem rotationssymmetrischen Ersatzsystem nicht richtig erfaßt werden kann.

Im Rahmen einer konservativen Abschätzung der Bohrlochkonvergenz werden fünf verschiedene Ersatzsysteme untersucht, wobei einerseits der Radius, andererseits die Höhe des Berechnungsausschnitts variiert werden /2/. Die thermomechanischen Auslegungsberechnungen konzentrieren sich im wesentlichen auf den Bereich I, während zur Vermeidung eines zu großen Wärmerückstaus in der thermischen Berechnung auch die Bereiche II bzw. III herangezogen werden (vgl. Abb. 5).

Den thermomechanischen Berechnungen über den geplanten Versuchszeitraum von fünf Jahren liegen folgende konservativ eingeschätzte Berechnungsannahmen zugrunde:

- Hydrostatischer Primärspannungszustand im Salzgebirge von -17,3 MPa (petrostatischer Teufendruck).
- Ausbruch des Bohrlochs zum Zeitpunkt $t = 0$ sowie Berücksichtigung einer anschließenden 30-tägigen Vorkriechphase vor Heizbeginn.
- Mechanische Materialeigenschaften für das Salzgebirge:
 - a) Elastische Kennwerte:
 - $E = 25\,000 \text{ MPa}$
 - $\nu = 0,25$
 - b) Kriechgesetz (Asseparameter /3/):

$$\dot{\epsilon}_{\text{eff}} = A \cdot \exp(-Q/R/T) \cdot (\sigma_{\text{eff}}/\sigma^*)^n$$
 - mit: $A = 0,18 \text{ (d}^{-1}\text{)}$
 - $Q = 54,0 \text{ (kJ} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}$
 - $R = 8,3143 \cdot 10^{-3} \text{ (kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}$
 - $n = 5,0$
 - $\sigma^* = 1,0 \text{ (MPa)}$.
- Alle Ränder der Ersatzmodelle sind mit Ausnahme der freien Bohrlochwand in senkrechter Richtung zum Rand festgehalten, parallel dazu verschieblich gelagert.
- Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient von Asse-Steinsalz:

$$4,0 \cdot 10^{-5} \text{ [1/K]}.$$
- Mit dem Berechnungsmodell sind lokale Abschalungen an der Bohrlochwand nicht erfaßbar.

Die thermomechanischen Auslegungsrechnungen werden mit dem Programm ANSALT durchgeführt /4/.

Exemplarisch werden hier nur die Ergebnisse der Variante gezeigt, die sich rechnerisch bei der Einlagerung der vier AVR-TL-Kannen in Bohrloch 4 ergeben. Die größere Stapelhöhe im Vergleich zu den drei Fässern bewirkt bei sonst gleichen Berechnungsannahmen ein um rd. 3 °C höheres Temperaturniveau /2/. Der maximale Temperaturanstieg an der Bohrlochwand beträgt ca. 25 °C.

Das höhere Temperaturniveau führt erwartungsgemäß zu größeren Konvergenzbeträgen im Berechnungsmodell. Nach fünf Jahren stellt sich bei dieser Variante eine maximale Radialverschiebung von ca. 8 cm ein (vgl. Abb. 6, Linie 1). Der Konvergenzfreiraum bei diesem Bohrloch beträgt allerdings 14 cm. Die Linien 2 - 5 verdeutlichen das Abklingen der Konvergenz im Bohrloch von der Oberkante der Kanten (Linie 2) bis hin zur Streckensohle (Linie 5), wo sich noch eine Radialverschiebung in der Größenordnung von ca. 2/3 der maximalen Konvergenz in halber Stapelhöhe ergibt.

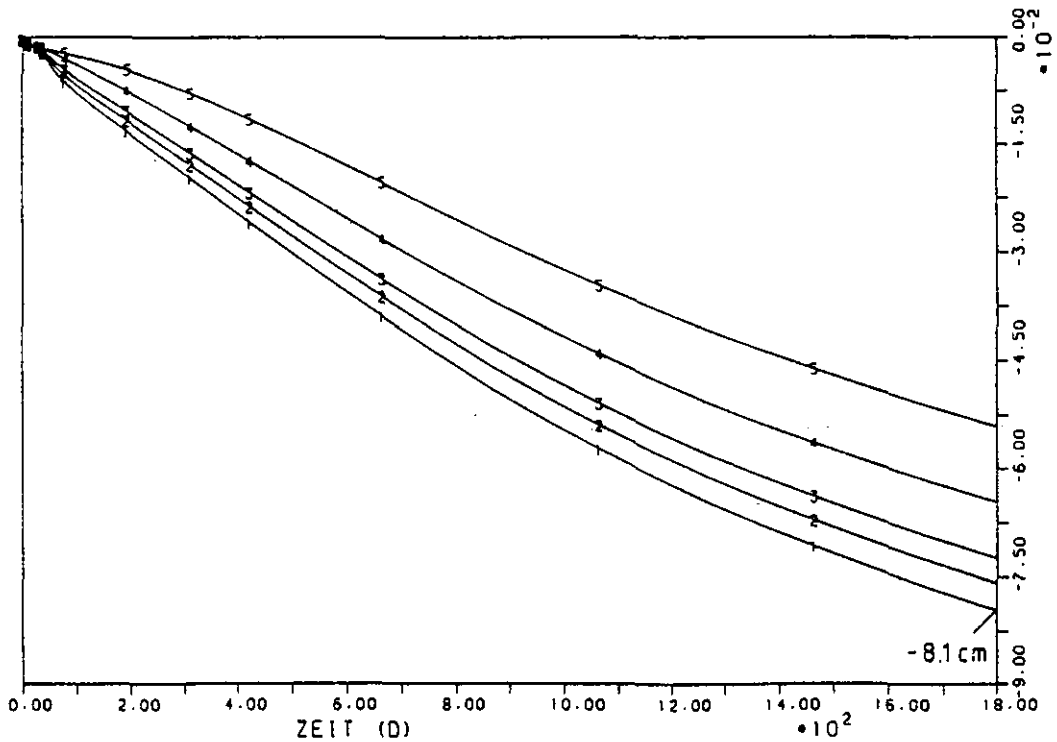


Abb. 6: Radialverschiebungen im Bohrloch bei 4 m Stapelhöhe

In den Abb. 7 und 8 sind die Spannungsverläufe in einem Horizontalschnitt in halber Stapelhöhe der Kanten (808,5 m Teufe) zu zwei verschiedenen Zeitpunkten dargestellt. In den Bildern beschreibt die Linie 1 den Verlauf der Radialspannung (SIG11), die Linie 2 den Verlauf der Vertikalspannung (SIG22) und die Linie 3 den Verlauf der Umfangsspannung (SIG33).

Abb. 7 zeigt den Spannungsverlauf unmittelbar nach Bohrlocherstellung. Zu diesem Zeitpunkt stellt sich der zur Beurteilung der Standfestigkeit des Bohrlochs ungünstigste Spannungszustand ein. Der hohe Spannungsdeviator in unmittelbarer Nähe vom Bohrloch wird jedoch in der Standzeit vor der Einlagerung durch Spannungsumlagerungen deutlich abgebaut (vgl. Abb. 7 und 8). Speziell die Größenordnung der Umfangsspannung (Linie 3) wird in der 30-tägigen Vorkriechphase um ca. 50 % reduziert. Durch den Wärmeeintrag ändert sich der Spannungszustand im Wandbereich der Bohrung kaum. Vielmehr stellt sich im ersten Versuchsjahr eine quasi hydrostatisch wirkende Erhöhung des Spannungsniveaus in weiter entfernt liegenden Gebirgsbereichen ein. Danach sinkt das Spannungsniveau kontinuierlich bis zum Versuchsende /2/.

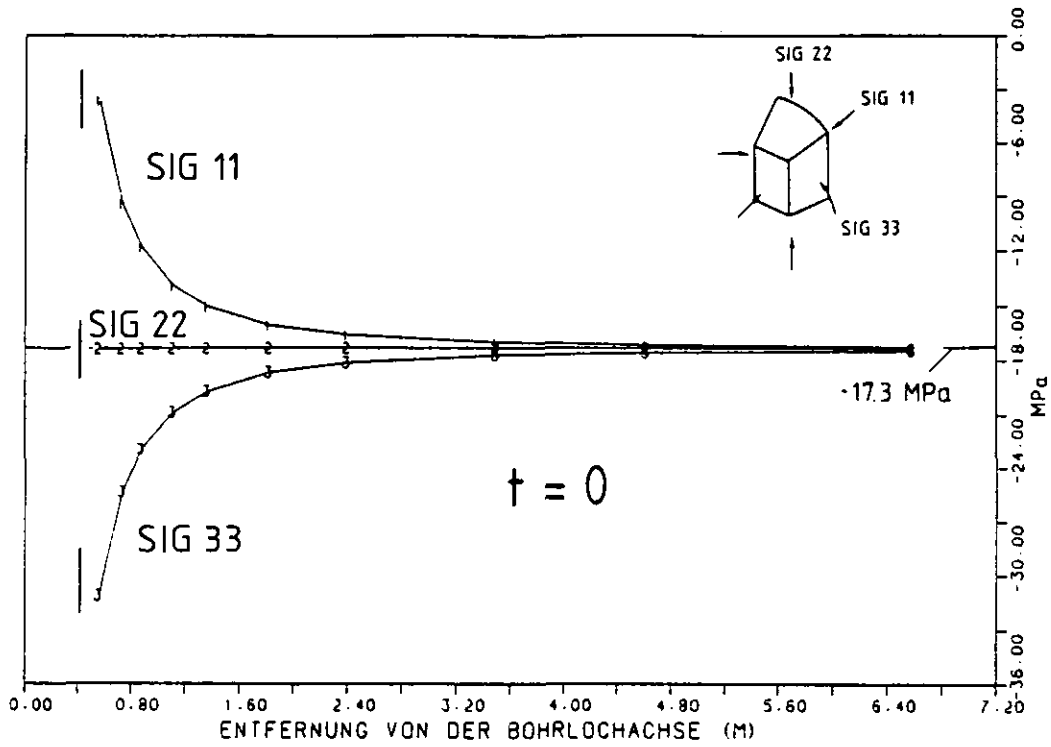


Abb. 7: Spannungsverlauf in einem Horizontalschnitt in halber Stapelhöhe unmittelbar nach Bohrerherstellung ($t = 0$ Tage)

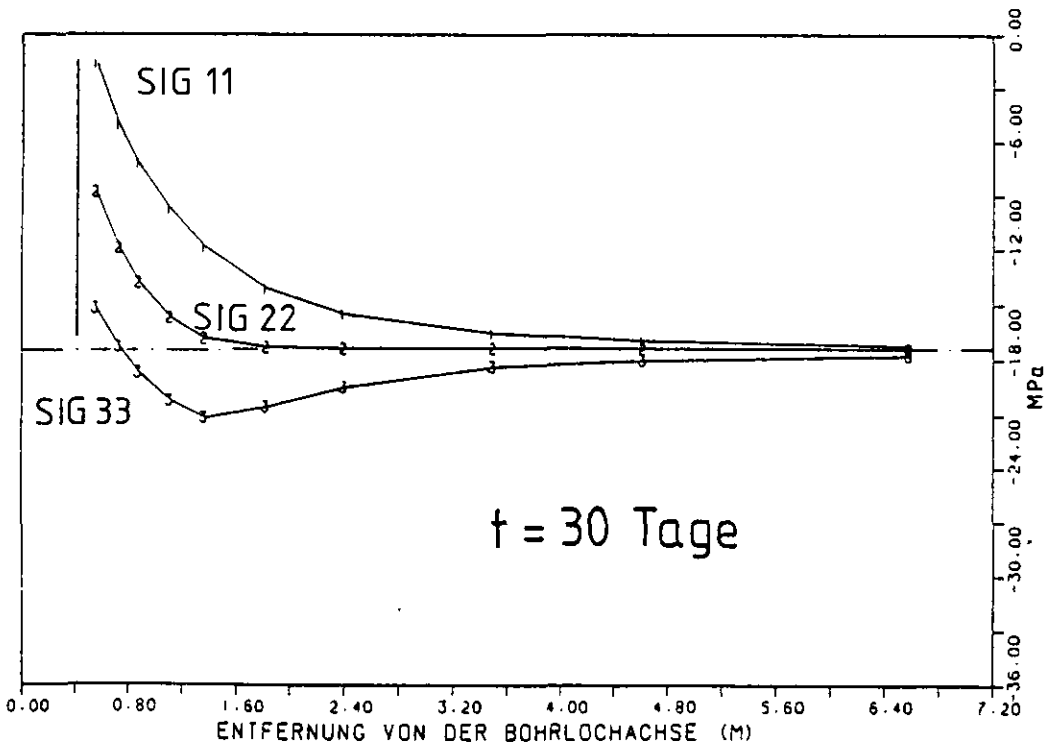


Abb. 8: Spannungsverlauf in einem Horizontalschnitt in halber Stapelhöhe bei Einlagerungsbeginn ($t = 30$ Tage)

3.2 Beanspruchung der Verrohrung

Im Kopfbereich der Bohrlöcher ist aus versuchstechnischen Gründen ein 1,5 m langes Standrohr vorgesehen, das elastisch hinterfüllt wird. Zur Berechnung der Beanspruchung, die auf das Standrohr wirkt, wird ein rotationssymmetrisches Berechnungsmodell gewählt, das den Streckenausbruch und die Bohrlocherstellung zum Zeitpunkt $t = 0$ sowie den Einbau des Standrohres und das Einschalten der Zusatzerhitzer nach einer 180-tägigen Vorkriechphase berücksichtigt. Ein Teilbereich des verwendeten FE-Netzes ist in Abb. 10 dargestellt.

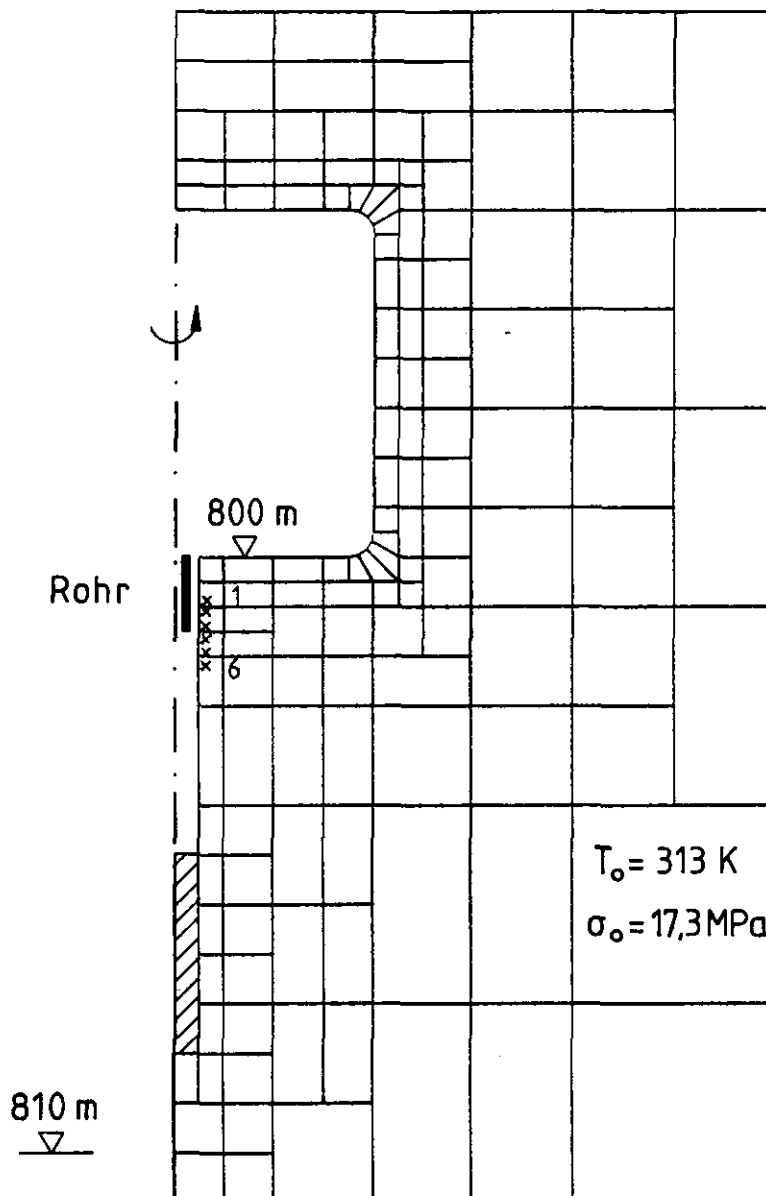


Abb. 10: Teilausschnitt aus dem verwendeten FE-Netz

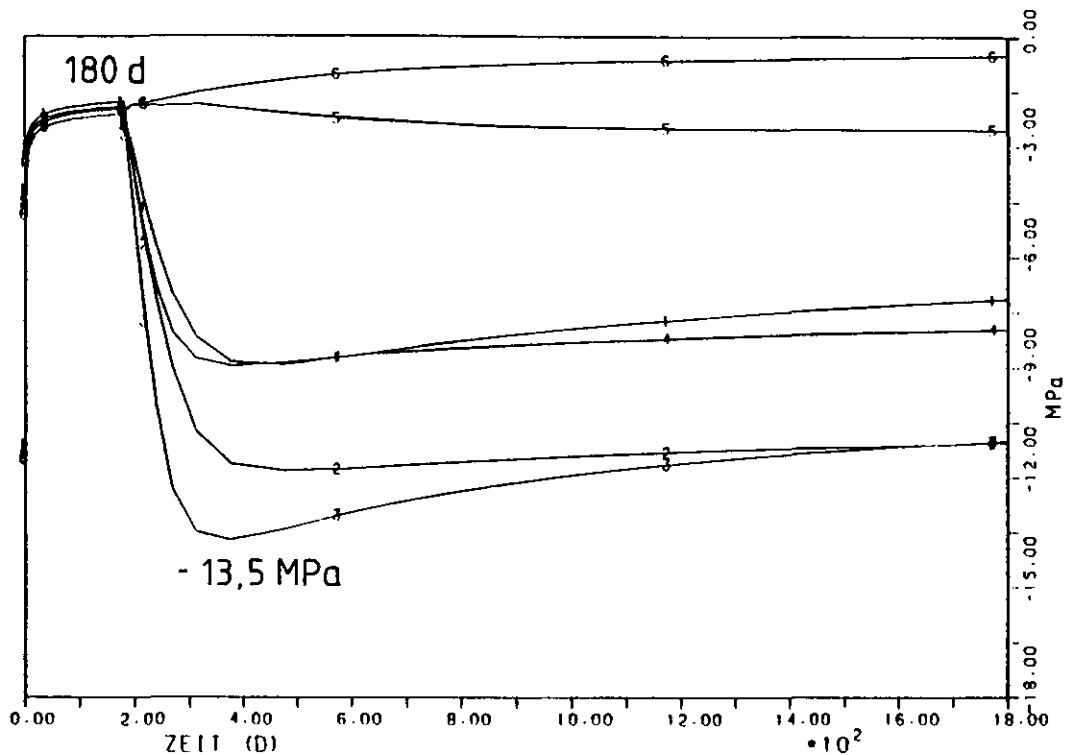


Abb. 11: Entwicklung der Radialspannung im Nahbereich der Verrohrung

Für eine konservative Abschätzung der Beanspruchung wird der Einbau des Standrohres durch die Fesselung der entsprechenden Knoten am Bohrlochrand in radialer Entfernung simuliert. Diese Berechnungsannahme entspricht einem unendlich steif angenommenen Rohr. Für die Berechnung werden die zuvor angegebenen thermischen und mechanischen Materialeigenschaften angesetzt.

In Abb. 11 ist die Entwicklung der Radialspannung im Nahbereich der Verrohrung dargestellt. Die Linien 1 - 3 beschreiben die Spannungsentwicklung unmittelbar hinter dem hinterfüllten Standrohr, die Linien 4 - 6 im anschließenden unverrohrten Wandbereich der Bohrung (vgl. Abb. 10). Es zeigt sich, daß nach Einbau des Standrohres bei gleichzeitigem Einschalten der Zusatzerhitzer ($t = 180$ Tage) die Druckspannung auf die Verrohrung schnell ansteigt. Zum Zeitpunkt $t = 350$ Tage stellt sich ein maximaler Radialdruck in der Größenordnung von 13,5 MPa ein, der sich im weiteren Verlauf langsam abbaut. Wie weitere Berechnungen zeigten, ist die Beanspruchung des Standrohres kaum thermisch bedingt, sondern ausschließlich von der Gebirgskonvergenz und dem Zeitpunkt des Einbaus abhängig. Bei Einbau des Standrohres unmittelbar nach Bohrlocherstellung ergibt sich ein maximaler Radialdruck von ca. 15 MPa. Der unverrohrte Wandbereich der Bohrung (Linie 5 und 6) ist nahezu spannungslos, wobei rechnerisch keine Zugspannungen auftreten. Dies gilt auch für die hier nicht dargestellten Verläufe der Vertikal- und Umfangsspannung.

4. ZUSAMMENFASSUNG

In mehreren thermischen Vorberechnungen wird untersucht, welche Wärme-freisetzung beim Einlagerversuch notwendig ist, um am Bohrlochrand ein endlagerrelevantes Temperaturniveau zu erzeugen. Dabei ergibt sich, daß die Anfangsleistung 350 - 400 W/m betragen muß.

Die thermomechanischen Auslegungsrechnungen werden an rotationssymmetrischen Ersatzmodellen durchgeführt, um eine echt räumliche Berechnung zu umgehen. Dem Berechnungsmodell liegen folgende konservativ eingeschätzte Annahmen zugrunde:

- Die Anfangstemperatur wird in den Berechnungsmodellen um 5 °C höher angesetzt, als in situ gemessen /5/. Dadurch stellt sich rein rechnerisch im zu erwartenden Temperaturbereich eine 1,3- bis 1,4-fach höhere Kriechrate ein.
- Es wird der petrostatische Druck in Höhe von 17,3 MPa angesetzt.
- Die Ersatzmodelle werden so kleinräumig gewählt, daß sich im Versuchszeitraum ein Wärmerückstau einstellt. Das dadurch bedingte höhere Temperaturniveau führt einerseits zu größeren thermisch bedingten Volumenvergrößerungen, andererseits zu höheren Kriechraten im Modell /2/.
- Die Verschiebungsrandbedingungen sind so gewählt, daß der gesamte Massenfluß auf das Bohrloch ausgerichtet ist.

Die Berechnungsergebnisse zeigen, daß die Rückholbarkeit der radioaktiven Abfälle im gesamten Versuchszeitraum gewährleistet ist, da der gewählte Konvergenzfreiraum von 11 bzw. 14 cm ausreichend bemessen ist. Aus gebirgsmechanischer Sicht ist der MAW-Einlagerversuch auf der 800 m-Sohle der Schachanlage Asse standfest ausgelegt, da kritische Spannungszustände im Bereich des Bohrlochs rein rechnerisch nicht zu erwarten sind. Abschaltungen in der prinzipiell gefährdeten Zone am unteren Ende der Standrohre werden als unwahrscheinlich angesehen. Eine Überprüfung der in den Modellrechnungen angenommenen geologischen Verhältnisse sowie der gewählten Stoffansätze kann durch den geplanten Vorversuch erfolgen.

5. SCHRIFTTUM

- /1/ E. Barnert, H. Brücher, K. Kroth und D. Niephaus: MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern, Kurzbeschreibung des FE-Vorhabens (1986).
- /2/ H.-K. Nipp: Auslegungsrechnungen zum MAW-Versuch in der Asse, Bericht für die Kernforschungsanlage Jülich, Institut für Chemische Technologie der Nuklearen Entsorgung (1986).
- /3/ H. Albrecht, U. Hunsche, H.-K. Nipp und I. Plischke: An In Situ Creep Experiment Using a Large Rock Salt Pillar, Sixth International Symposium on Salt, Toronto, Canada (1983).
- /4/ H.-K. Nipp und M. Wallner: Entwicklung eines optimalen Finite Element Programms (ANSALT) zur Berechnung thermomechanischer Vorgänge bei der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle, BMFT-Forschungsvorhaben KWA 2070/8, Endbericht (1984).
- /5/ D. Meister, N. Jacob, G. Anke, D. Heidrich, K. Sammer und S. Heusermann: Thermomechanische in situ-Versuche zum Nachweis kritischer Spannungszustände (Rißbildung), BMFT-Forschungsvorhaben KWA 5205/9, Endbericht (1985).

EINLEITUNG

Das Vorhaben MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern gliedert sich in die zwei Teilvorhaben:

- Einlagerungstechnik
(für die Asse in rückholbarer Form)
- Bohrlochverschlußtechnik

Zielsetzung und Organisation des Gesamtvorhabens ist in Abb. 1 dargestellt.

Um die Rückholbarkeit der Abfälle zu gewährleisten wird ein umfangreiches geomechanisches Programm durchgeführt. Ziel ist es, die Einlagerungsbohrlöcher so zu bemessen, daß ein ausreichender Konvergenzfreiraum vorhanden ist, so daß die in den Bohrlöchern befindlichen Gebinde durch Konvergenzabläufe nicht eingeschlossen werden können. Auf der Basis des erarbeiteten Salzstoffgesetzes wurden seitens der BGR umfangreiche gebirgsmechanische Berechnungen ausgeführt (s. Nipp in diesem Band). Um ein Verklemmen der Fässer durch Schalenbildungen aus der Bohrlochwand auszuschließen wird eine maschinentechnische Konstruktion in das Bohrloch eingebaut, die die jederzeitige Rückholbarkeit gewährleistet und gleichzeitig die Wirkung der radioaktiven Strahlung aus den Gebinden auf das Salzgebirge kaum behindert (s. Niephaus in diesem Band). Das geotechnische in situ-Meßprogramm dient einerseits der Kontrolle der vorausberechneten und tatsächlich eingetretenen Verformungen und Gebirgsspannungen. Andererseits sind es standortbezogenen bzw. Schachtanlagen bezogene Grundlagendaten, die mit der Übertragung auf andere Standorte dienen.

MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern	
Zielsetzung des Fu.E-Vorhabens: Bereitstellung einer Technik für die Endlagerung von Feedklärschlamm, Brennelementhülsen und verbrauchten HTR-Brennelementen in unverrohrten Bohrlöchern im Salz und deren Erprobung im Salzbergwerk Asse	
Teilvorhaben I: Einlagerungs- / Bohrlochverschlußtechnik <ul style="list-style-type: none"> ● Komponententwicklung für Endlager ● Sicherheitstechnische Nachweise ● Kalterprobung mit prototypischen Komponenten in Asse 	Teilvorhaben II: Rückholbarer Einlagererversuch <ul style="list-style-type: none"> ● Gasfreisetzung aus Abfallgebinden ● Wechselwirkungen zwischen Salzgestein und Abfallgebinden ● Rückholbare Versuchseinlagerung mit echten Abfallgebinden in Asse

Abb. 1: Zielsetzung und Organisation des Gesamtvorhabens

1. ZIEL DER GEOTECHNISCHEN UNTERSUCHUNGEN

Das natürliche Spannungs- und Verformungsverhalten innerhalb der Schachtanlage ASSE 2 ist infolge der vor mehr als 75 Jahren begonnenen bergmännischen Arbeiten im Umfeld des bestehenden Grubengebäudes erheblich verändert worden. Gebirgsmechanische Modellrechnungen zeigen deutlich, daß auch noch relativ weit von bestehenden Abbaukammern mit einem sekundär überprägten Spannungsfeld zu rechnen ist.

Daher sei es vor dem hier angesprochenen Teilnehmerkreis gestattet, noch einmal auf sehr grundsätzliche geomechanische Aspekte des Hohlraumbaues ganz allgemein zu verweisen.

Das den jeweiligen Hohlraum umgebende Gebirge stellt sowohl das Baumaterial als auch das tragende Element dar. Der Arbeitskreis Bergmännische Gebirgsmechanik der DFG kam 1975 zu folgendem Fazit /1/:

GEBIRGSMECHANIK

Ist die Wissenschaft, welche die Statik und Dynamik des Gebirges in seinen vielfältigen Erscheinungsformen zum Gegenstand hat und seine mechanischen und physikalischen Eigenschaften systematisch untersucht.

- in welchem Maße verformt sich das anstehende Gebirge in Abhängigkeit vom Spannungszustand, von der Temperatur, von der Zeit und von der Feuchte
- Welche Materialfestigkeit besitzt das Gebirge, d.h. unter welchem Spannungszustand tritt der Bruch oder sonstiges Materialversagen ein.
- Welchem Spannungszustand ist das Gebirge tatsächlich ausgesetzt.

BERGMÄNNISCHE GEBIRGSMECHANIK

Gebirge als Baumaterial und als tragendes Element einer bergmännischen Konstruktion

- d.h. alle Grundlagen deren Kenntnisse für die technische, wirtschaftliche und sicherheitliche Auffahrung und Offenhaltung bergmännischer Hohlräume notwendig sind.

Folgende Hohlraumgruppen lassen sich unterscheiden:

- Grubenbaue im engeren Sinn
- Tunnel- und Stollenbauwerke
- Untertägige Großräume, Schächte, Kavernen, Untertagegaragen, militärische Bauwerke, Lagerräume für Speicher und Endlagerzwecke

BEI GRUBENBAUEN INTERESSIEREN BESONDERS:

- Offenhaltung von Schächten und Strecken, Bereitstellung genügend grosser Nutzquerschnitte, Beseitigung der Steinfallgefahren zur Gewährleistung eines störungsfreien Betriebsablaufes.
- Offenhaltung der Abbaubetriebspunkte unter den gleichen Gesichtspunkten für die Dauer des Abbaues.
- Großräumige Mechanik des Gebirges infolge des Abbaues abschließlich der Gebirgsbewegung bis zur Tagesoberfläche.
- Bekämpfung der Gebirgsschlaggefahren.
- Schonende Behandlung des Gebirges zur Erhaltung der Eigentragfähigkeit des Gebirges.
- Langzeitprognosen im Zusammenhang mit der Endlagerung von chemischen und radioaktiven Abfällen.

STANDSICHERHEITSANALYSE SETZT SICH ZUSAMMEN AUS:

Drei sich gleichwertig ergänzenden Teilen

Fortschreibung mit dem jeweiligen Kenntnisstand \pm Erkundungsgrad

Welche gewonnenen Erfahrungen an vergleichbaren Bauwerken sind auf das jeweilige Objekt übertragbar ?

Rechnerische Abschätzung des Spannungs-Verformungsverhaltens im Umfeld des Bauvorhabens

Stoffgesetze Gestein, Gesteinsverband
Labor-in situ Ermittlungen
Parameter Labor-in situ Ermittlungen
Lastabtragung (steife Schichten)
Modellentwicklung (z.B. FEM).

In Situ: Messtechnische Kontrolle von vorausberechneten und tatsächlichen eingetretenen gebirgsmechanischem Verhalten

Entsprechend vorstehend dargelegter Grundsatzfragen, die auf Bitten der Projektleitung hier noch einmal kurz skizziert wurden, ist abzuleiten, daß die Beurteilung der gebirgsmechanischen Sicherheit sich am sinnvollsten in Form einer Sicherheitsanalyse, die sich aus drei sich gleichwertig ergänzenden Teilen zusammensetzt, durchgeführt wird.

Die geotechnische in situ-Instrumentierung dient in diesem Vorhaben vorzugsweise der Kontrolle der in den Modellrechnungen erzielten Verformungs- und Spannungsdaten /2/. Da aber wie Eingangs erwähnt der gebirgsmechanische Ausgangszustand am Versuchsstandort mehrfach überprägt ist, dienen die in situ-Messungen gleichzeitig zur Abgrenzung der Ausgangsbedingungen.

2. LAGE UND AUFFAHRUNG DES VERSUCHSFELDES

Das Versuchsfeld befindet sich im Westfeld der Schachtanlage auf der 800-m-Sohle im Zentrum des Asse-Sattels. Das Feld für den Einlagerungsversuch ist querschlägig zur geologischen Sattelstruktur, das Bohrlochverschlußfeld ist in streichender Richtung angeordnet.

Abb. 2 gibt die Anordnung auf der 800-m-Sohle schematisch wieder. Einzelheiten zur Geologie des Feldes sind Bottke und Olfers in diesem Band zu entnehmen.

Die Auffahrung erfolgte in 4 Teilschnitten, sodaß das Einlagerungsfeld ein Auffahrmaß von 7 x 8 m und das Bohrlochverschlußfeld ein Auffahrungsmaß von 6,6 x 6,0 m aufweist.

Abb. 3 gibt die Querschnitte in den MAW-Versuchsfeldern wieder.

3. DURCHGEFÜHRTE GEOTECHNISCHE INSTRUMENTIERUNGEN

Die geotechnischen in situ-Untersuchungen verfolgen also zwei Ziele:

Einerseits dienen sie der Kontrolle der vorausberechneten Spannungs- und Verformungswerte, andererseits sind es standortspezifische Untersuchungen in der Schachtanlage ASSE 2, um auch die Übertragung der an diesem Standort gewonnenen Werte auf andere Standorte vorzunehmen zu können.

Der Standort ASSE 2 ist infolge der bergmännischen Tätigkeiten mechanisch als vorbeanspruchte zu bezeichnen. Aus diesem Grunde sind insbesondere die Lastannahmen durch in situ-Messungen zu überprüfen. Dies kann entweder durch direkte Messungen des in situ-Spannungszustandes oder durch Verformungsmessungen um definierte Hohlräume erfolgen.

Wie vorstehend beschrieben wurde die Auffahrung des Versuchsfeldes in zwei vertikal übereinander angeordneten Ebenen im Teilschnittverfahren vorgenommen. Dabei wurden jeweils oben und unten zwei Teilschnittsegmente mit diesem Verfahren gelöst. Um die durch diesen Vortrieb ausgelösten Spannungs- bzw. Verformungsänderungen zu erfassen, wurden vor dem Vortrieb vom östlichen Querschlag aus 3 Extensometerquerschnitte eingebaut. Aus den gemessenen Verformungen soll dann versucht werden, auf den sich einstellenden Spannungszustand im Umfeld des aufgefahrenen Versuchsortes auf der 800-m-Sohle zu schließen.

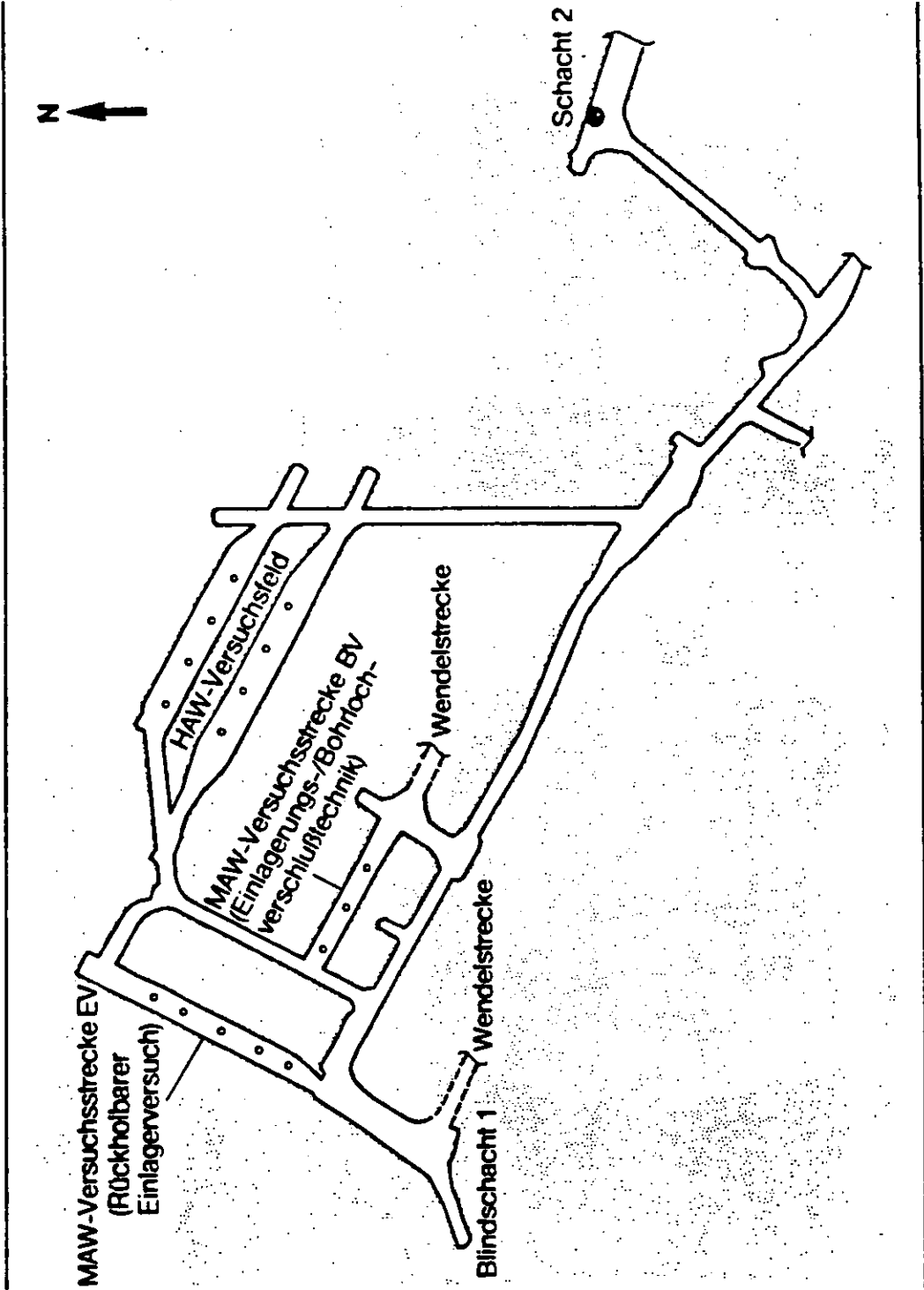


Abb. 2: Lage der Versuchsfelder auf der 800-m-Sohle der Schachtanlage ASSE

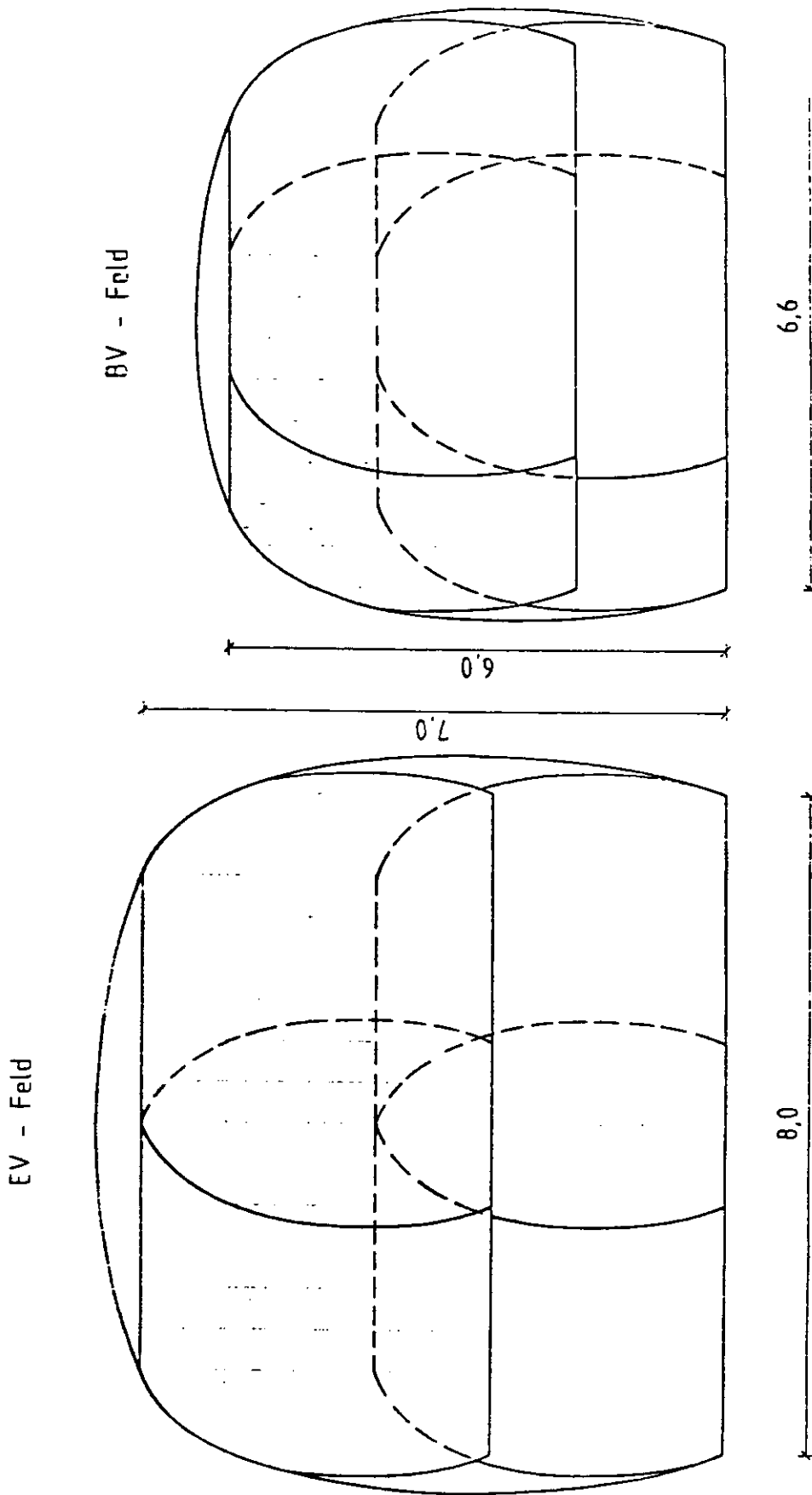


Abb. 3: Querschnitte der MAW-Versuchsfelder

Abb. 4 gibt die Anordnung der Vorfeldextensometer im Grundriß wieder. Abb. 5 zeigt in einer Schnittdarstellung die Anordnung des mittleren Vorfeldextensometers (EV3-EXT 1-5).

Der Extensometerkopf befindet sich in dem östlichen Zugangsquerschlag zum HAW-Feld. In 1,5 m, 7 m, 14,5 m, 22 m und 32 m Tiefe wurde das Extensometer verankert. Vor dem Fixpunkt in 22 m Tiefe befinden sich dann 2 m Salzgebirge bis zum östlichen Stoß des Versuchsfeldes. Im Zuge der Teilschnittauffahrung wurde mit der Ausführung der unteren Schnittebene das in 32 m Tiefe verankerte Extensometerteil durchtrennt.

4. ERSTE ERGEBNISSE

Die aufgenommenen Verformungswerte lassen deutlich den Einfluß des Vortriebs erkennen. Abb. 6 zeigt einen gleichmäßigen Verformungsverlauf in 40 Tagen sind ca. 1,8 mm Deformation zwischen dem tiefsten Anker und Extensometerkopf erfolgt. Diese Messungen konnten erst nach dem Durchgang der Teilschnittmaschine aufgenommen werden.

Dagegen ist in Abb. 7 deutlich der Einfluß des Vortriebs erkennbar. Ca. 11 Tage nach Beginn der Messungen erreicht der Vortrieb den Meßquerschnitt. Die Verformungsraten steigen zwischen dem 11. und 17. Tag infolge des Herauslösens des Gebirges im Einlagerungsfeld deutlich an, um danach in einer verminderten Verformungsrate weiter zu gehen. Insgesamt wurden in knapp 50 Tagen Verformungswerte von rund 3,8 mm erreicht. Noch etwas höhere Verformungen sind im südlichen Streckenteil gemessen worden (siehe Abb. 8). Inwieweit hier die benachbarte Zugangsstrecke zur Wendel Einfluß hat und inwieweit der natürliche Feuchtegehalt von lokalem Einfluß ist, bedarf der Überprüfung. Abb. 9 zeigt den Verformungsablauf nach einem Jahr Meßdauer. Rund 25 mm Deformation sind in diesem Zeitraum erfolgt.

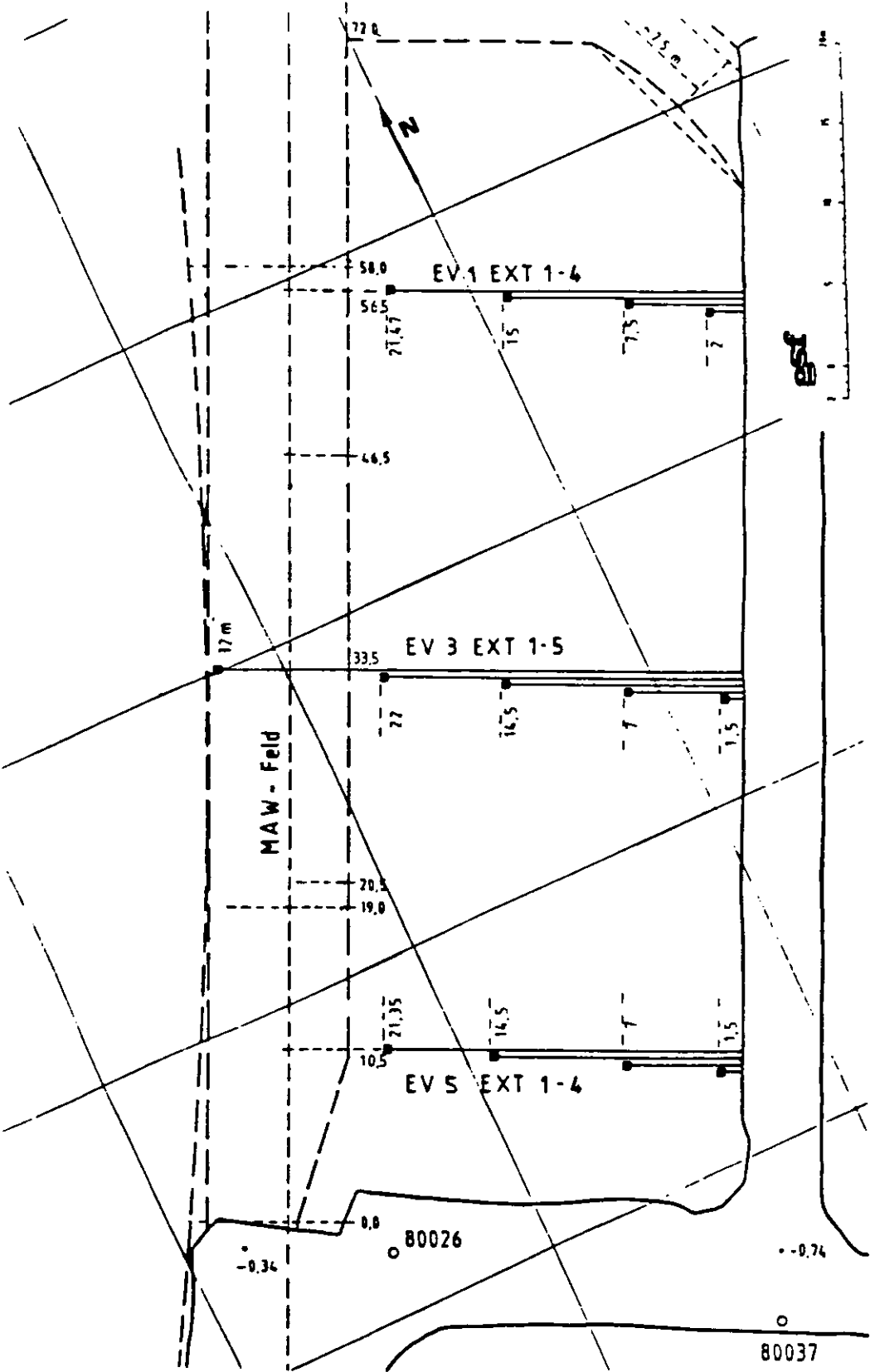


Abb. 4: Anordnung der Vorfeldextensometer im östlichen Pfeiler des MAW-EV-Feldes

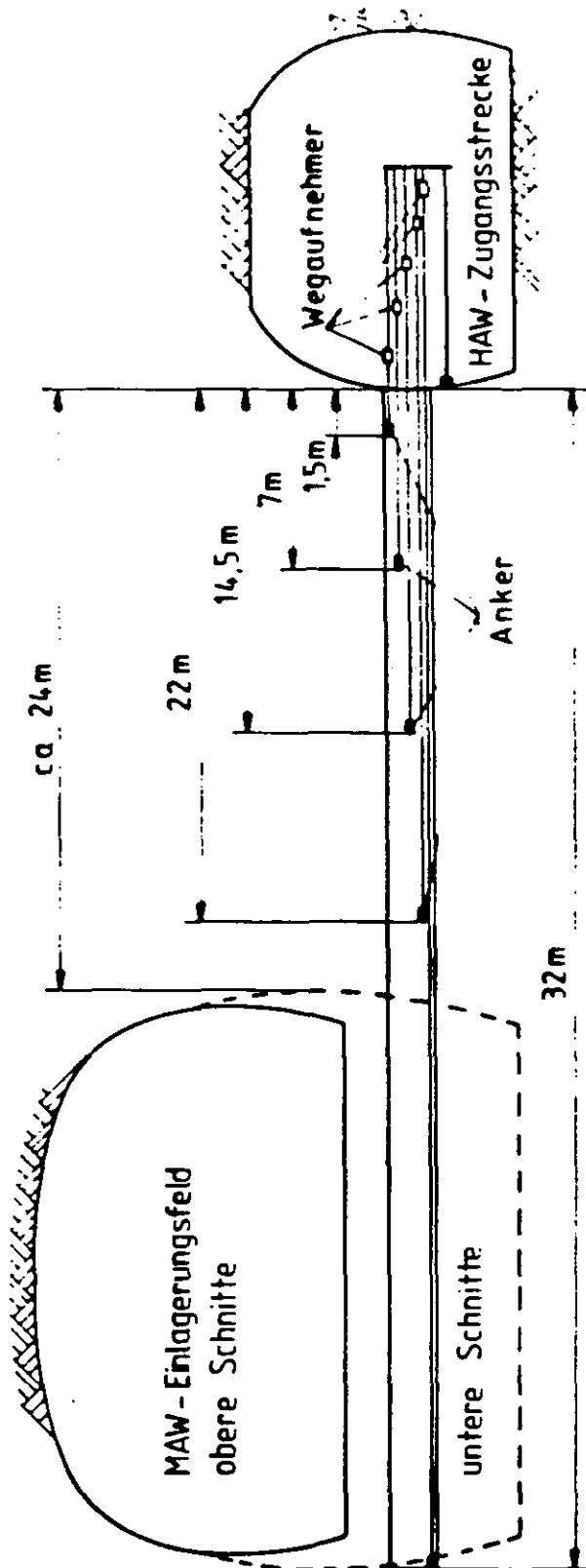
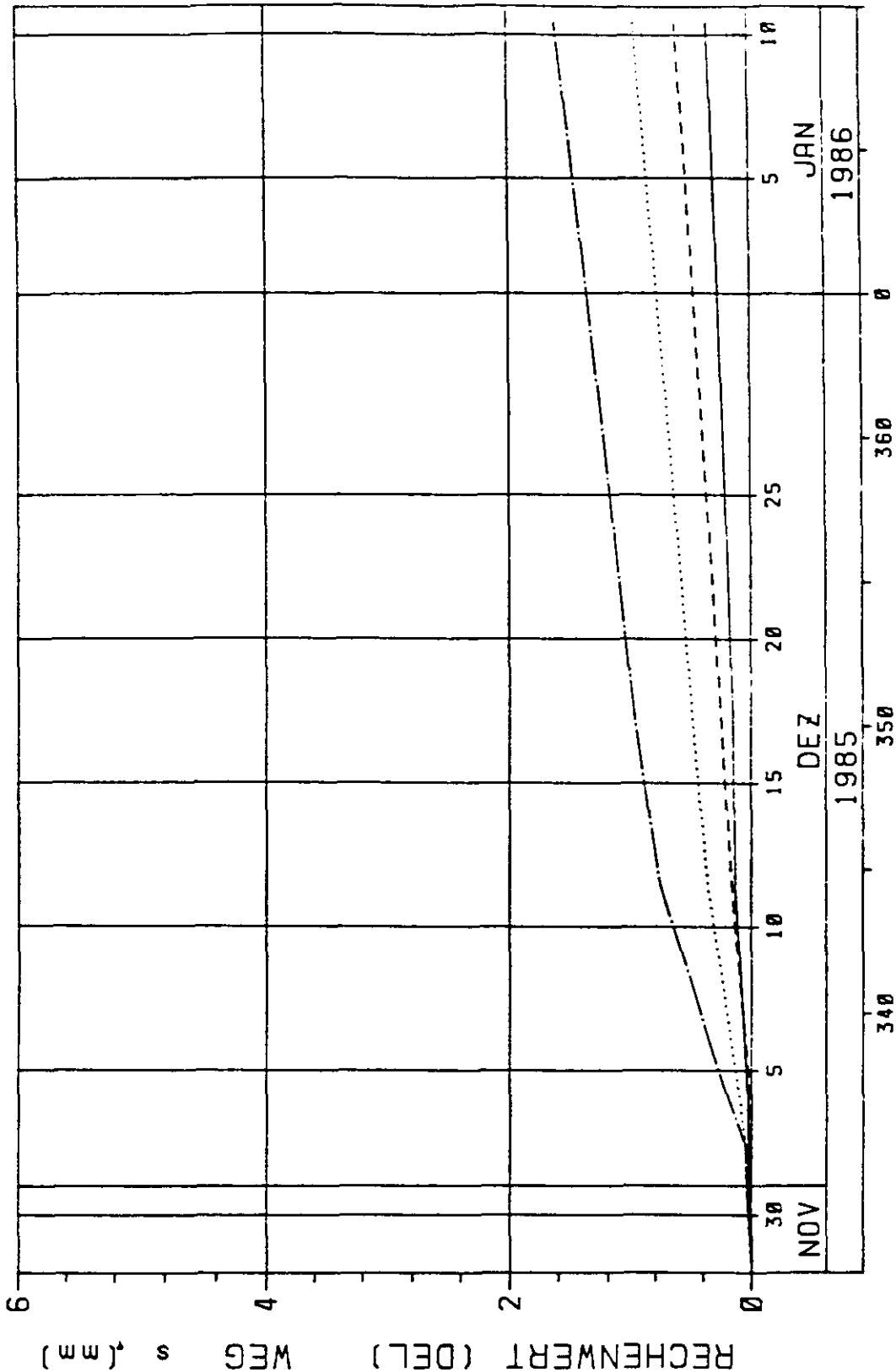


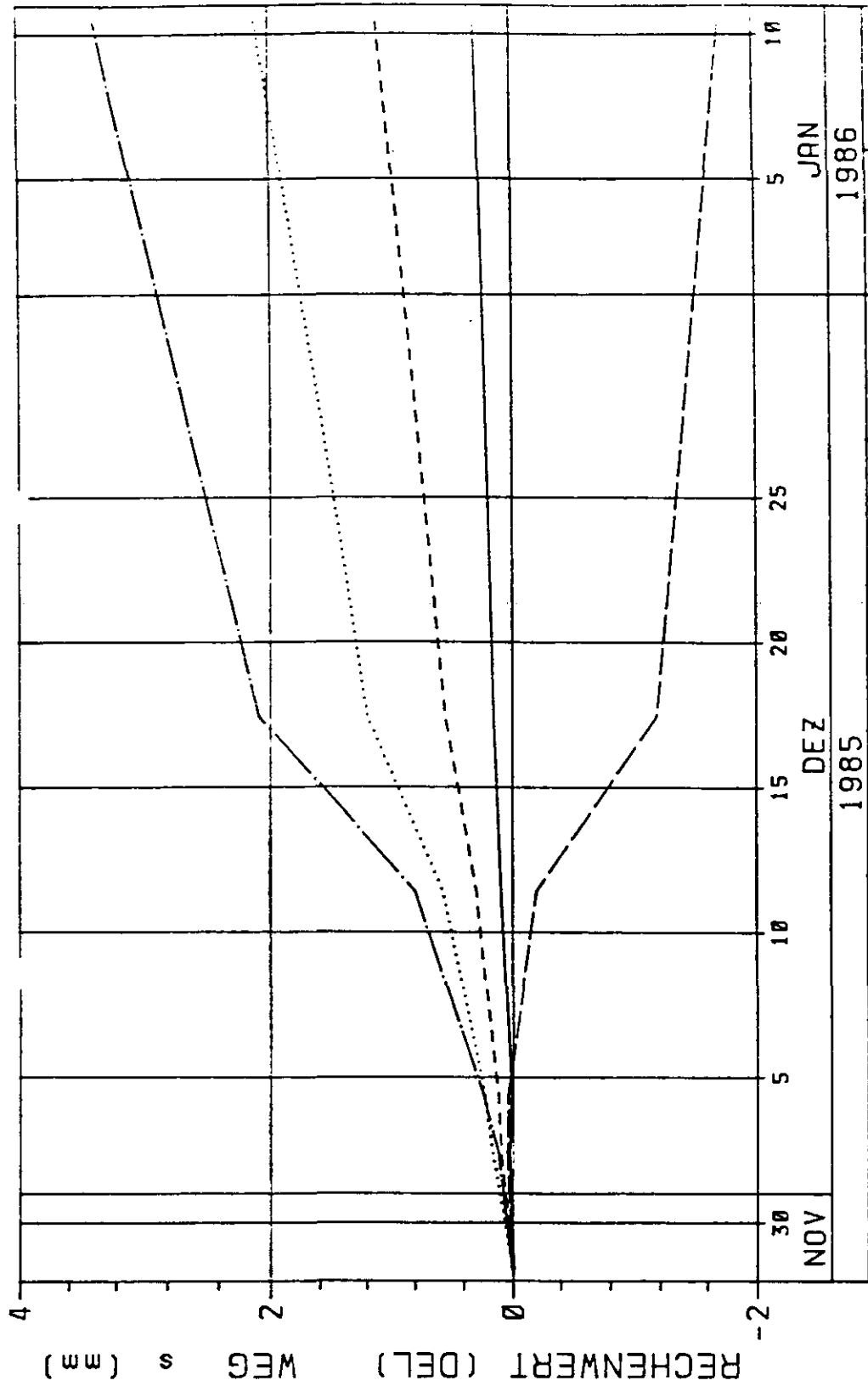
Abb. 5: Querschnitt durch MAW-EV-Strecke, Pfeiler und HAW-Zugangsstrecke beim Vorfeldextensometer EV3-EXT



KURVE	MESS-STELLE	MO	GEBER	MESSORT	VERANKERUNG	HOEHE (m NN)	AUFGETRAGENER MESSZEITRAUM
—	001	HORI	EV5 EXT 1	MAV-FELD	1.5 m	-800	281185-100186
- - -	002	HORI	EV5 EXT 2	MAV-FELD	7 m	-800	281185-100186
.....	003	HORI	EV5 EXT 3	MAV-FELD	14.5 m	-800	281185-100186
-----	004	HORI	EV5 EXT 4	MAV-FELD	21.47 m	-800	281185-100186

EXTENS OMETERMESSUNGEN			
-GSF-GSF-GSF-GSF-GSF-GSF- PROJEKT:		INSTITUT F. TIEFLAGERUNG MAV IM BOHRLOCH	
ABTEILUNG FUER		ENDLAGERTECHNOLOGIEN	
DATUM: 28.11.86		ANLAGE: ABB. 3	

Abb. 6: Meßwerte des Vorfeldextensometers EV5 - EXT



EXTENS OMETERMESSUNGEN			
KURVE	MESB-STELLE	MO	GEBER
	005	HORI EV3 EXT 1	MAV-FELD
	006	HORI EV3 EXT 2	MAV-FELD
---	007	HORI EV3 EXT 3	MAV-FELD
	008	HORI EV3 EXT 4	MAV-FELD
	009	HORI EV3 EXT 5	MAV-FELD

EXTENS OMETERMESSUNGEN			
-GSF-GSF-GSF-GSF-GSF-GSF- INSTITUT F. TIEFLAGERUNG MAV IM BOHRLOCH ABTEILUNG FUER ENLAGERTECHNOLOGIEN		PROJEKT: DATUM: 24.11.85 ANLAGE: ABB. 4	
KURVE	MESB-STELLE	MO	GEBER
	005	HORI EV3 EXT 1	MAV-FELD
	006	HORI EV3 EXT 2	MAV-FELD
	007	HORI EV3 EXT 3	MAV-FELD
	008	HORI EV3 EXT 4	MAV-FELD
---	009	HORI EV3 EXT 5	MAV-FELD
	010	HORI EV3 EXT 6	MAV-FELD
	011	HORI EV3 EXT 7	MAV-FELD
	012	HORI EV3 EXT 8	MAV-FELD
	013	HORI EV3 EXT 9	MAV-FELD

Abb. 7: Meßwerte des Vorfeldextensometers EV3 - EXT

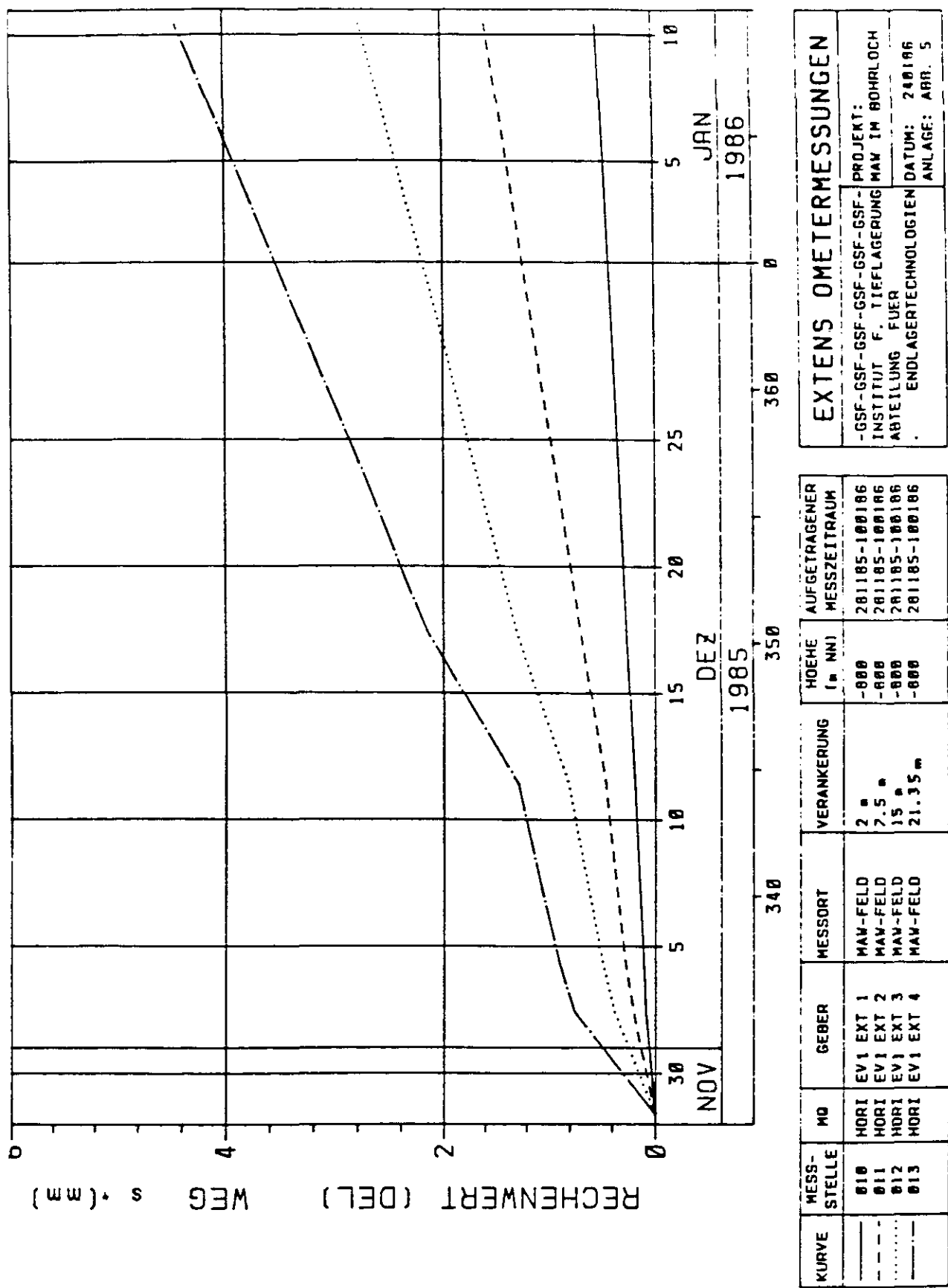


Abb. 8: Meßwerte des Vorfeldextensometers EV 1 - EXT bis Januar 1986

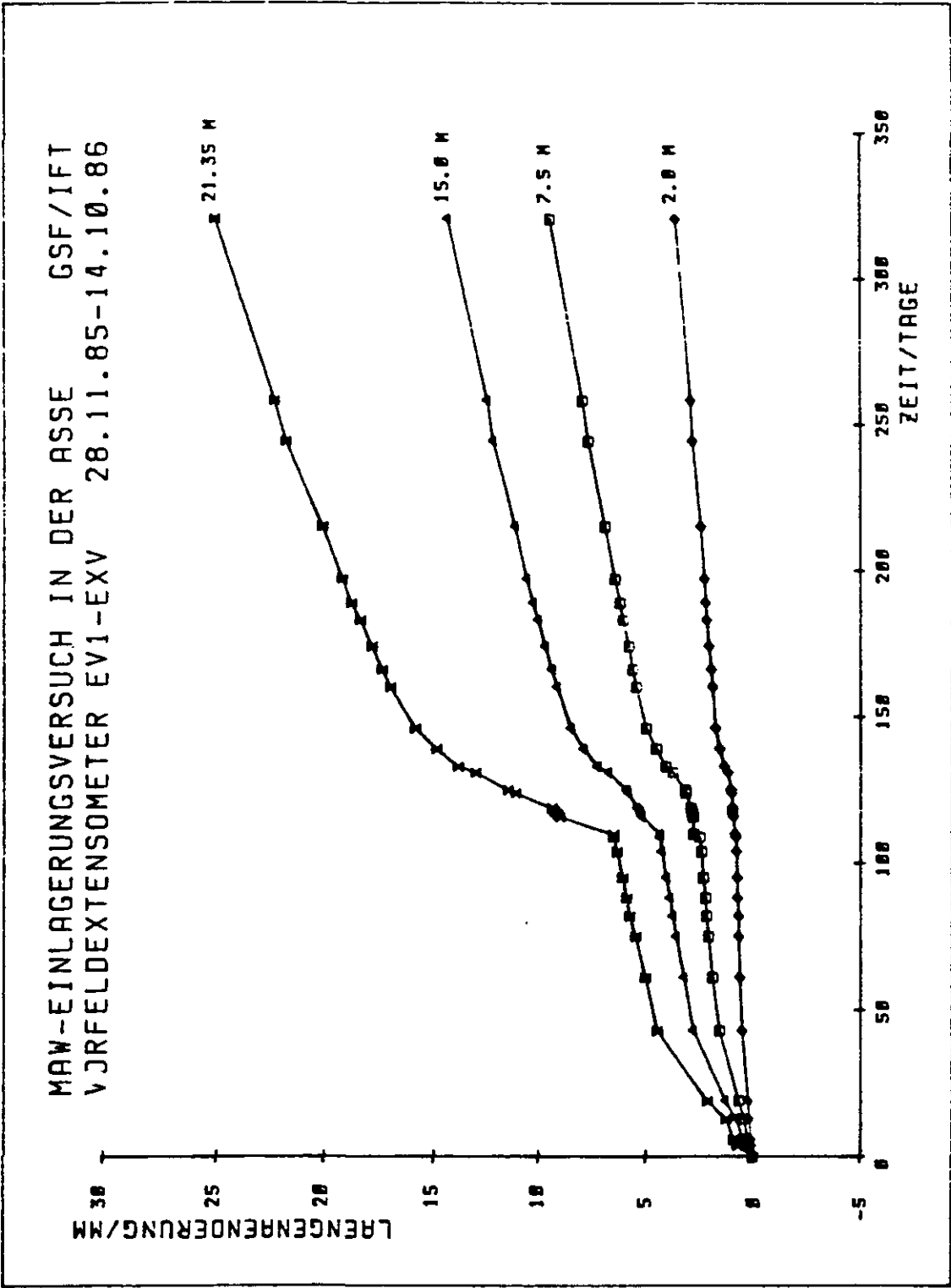


Abb. 9: Meßwerte des Vorfelddextensometers EV1 - EXT bis Oktober 1986

5. WEITERE ARBEITEN

Nachdem durch die vorstehend beschriebenen Verformungsmessungen der Einfluß des Hohlraumbaus, d.h. also der Auffahrung des Einlagerungsversuchsfeldes, erkundet wurde, verfolgen die weiteren geotechnischen Arbeiten zwei Ziele:

- Erfassung und Kontrolle gebirgsmechanischer Abläufe zur Gewährleistung der Rückholbarkeit der aktiven Gebinde
- Erfassung standortspezifischer Daten zur Übertragung der Kenntnisse auf andere Standorte.

Um diese Ziele zu erreichen, werden die in Abb. 10 und Abb.11 dargestellten Ergänzungsinstrumentierungen vorgenommen. Es handelt sich dabei im wesentlichen um Messungen der Lichtraumkonvergenzen im Versuchsfeld, Messungen der Verformungen im westlichen Stoß, in der Firste und Sohle mittels Extensometern, sowie um Messungen der Gebirgsspannungen mittels Spannungsmonitorstationen, sowie um Messungen der Gebirgstemperaturen. Ein begleitendes gesteinsmechanisches Laborprogramm ergänzt die Arbeiten.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der geotechnischen Untersuchungen ist es, sowohl die Rückholbarkeit der Gebinde aus gebirgsmechanischer Sicht zu gewährleisten, als auch genügend Grundlagen für eine gebirgsmechanische Analyse für die Endlagerungstechnologie - Lagerung von MAW - Gebinden in Bohrlöchern - bereitzustellen.

Der erste Schritt zur Erfassung der Verformungen infolge Auffahrung des Versuchsfeldes kann als gelungen bezeichnet werden. Mit der Instrumentierung der restlichen Meßquerschnitte ist im Jahre 1987 zu rechnen.

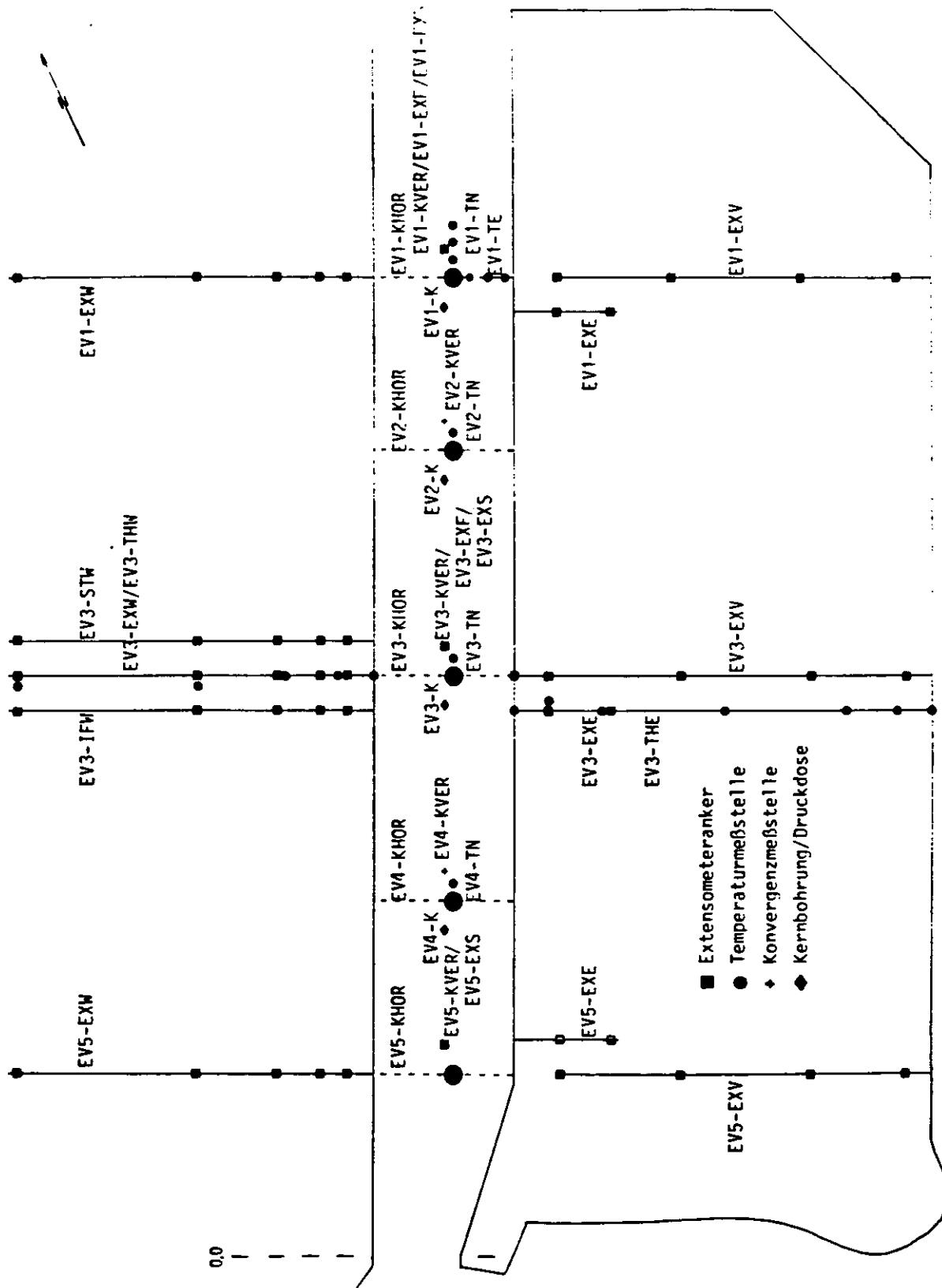


Abb. 10 : Grundriß der HAW-EV-Strecke mit geplanter geotechnischer Instrumentierung

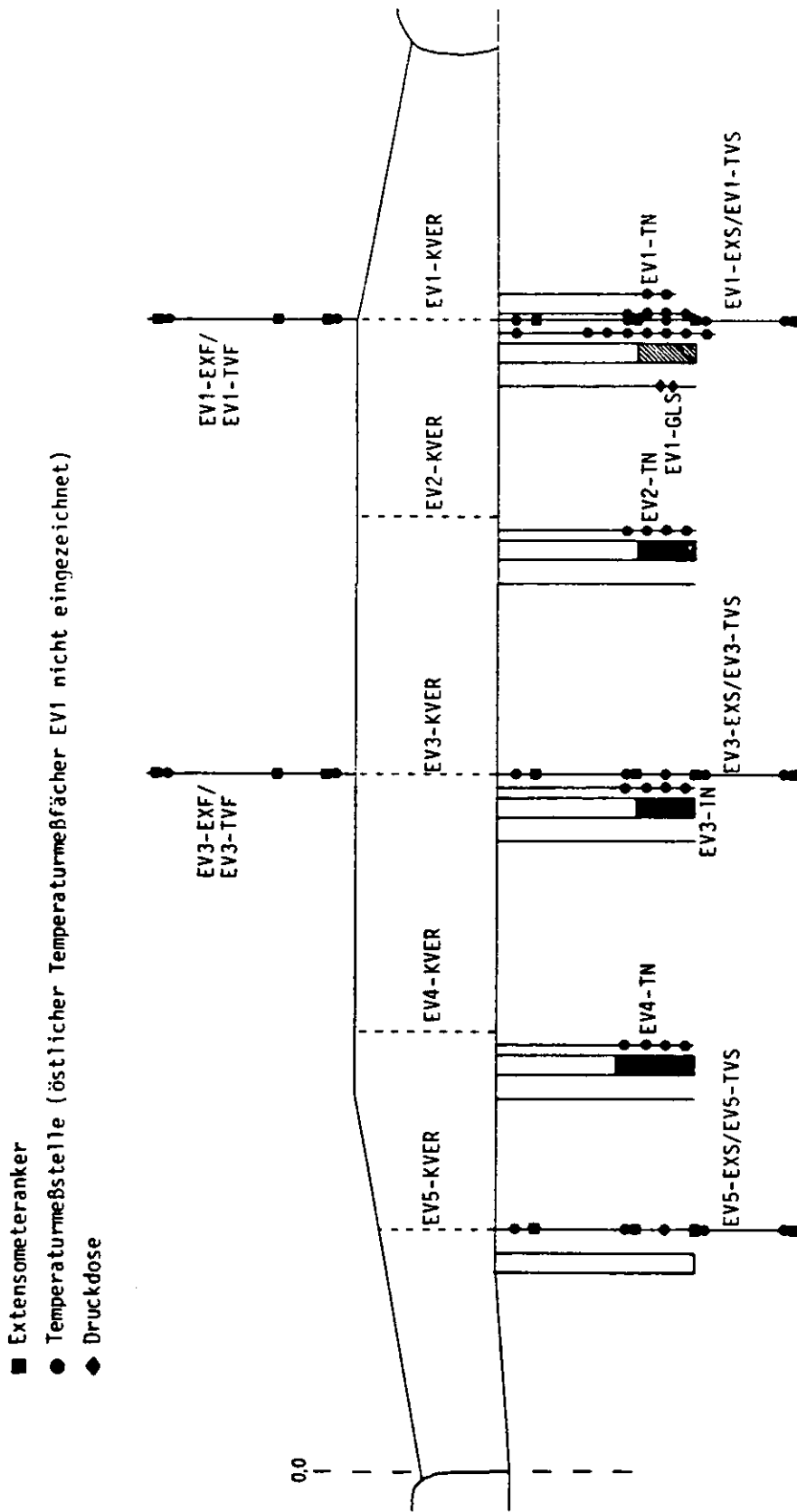


Abb. 11: Längsschnitt der MAN-EV-Strecke mit geplanter geotechnischer Instrumentierung

LITERATURHINWEISE

- /1/ NATAU, O.: Bergmännische Gebirgsmechanik - DFG - Arbeitskreis -
Abschlußbericht
Boppart 1973
- /2/ H.K. NIPP: Auslegungsrechnungen zum MAW-Versuch (EV) in der Asse
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 1986

Maschinentechnik, Handhabung und Bohrlochvorbereitung
beim rückholbaren Einlagerversuch

Dieter Niephaus

Kernforschungsanlage Jülich GmbH
Institut für Chemische Technologie
der Nuklearen Entsorgung

Die wesentlichen Zielsetzungen und Randbedingungen zur Durchführung des aktiven Einlagerversuchs, bei dem eine begrenzte Anzahl radioaktiver Abfallgebinde aus der LWR und HTR-Entsorgung für eine Versuchsdauer von ca. 5 Jahren in Bohrlöchern eingelagert werden soll, sind in Abb. 1 zusammengefaßt.

- Teilvorhaben II:
Rückholbarer Einlagerversuch
- Versuchsziele**
- **Charakterisierung der Abfallgebinde**
 - **Demonstration der prinzipiellen Handhabungstechnik unter Bergwerksbedingungen**
 - **Wechselwirkungen Abfallgebinde – Bohrloch-atmosphäre – Salz bei erhöhten Gebinde- und Salzttemperaturen (Gasfreisetzung, Radiolyse)**

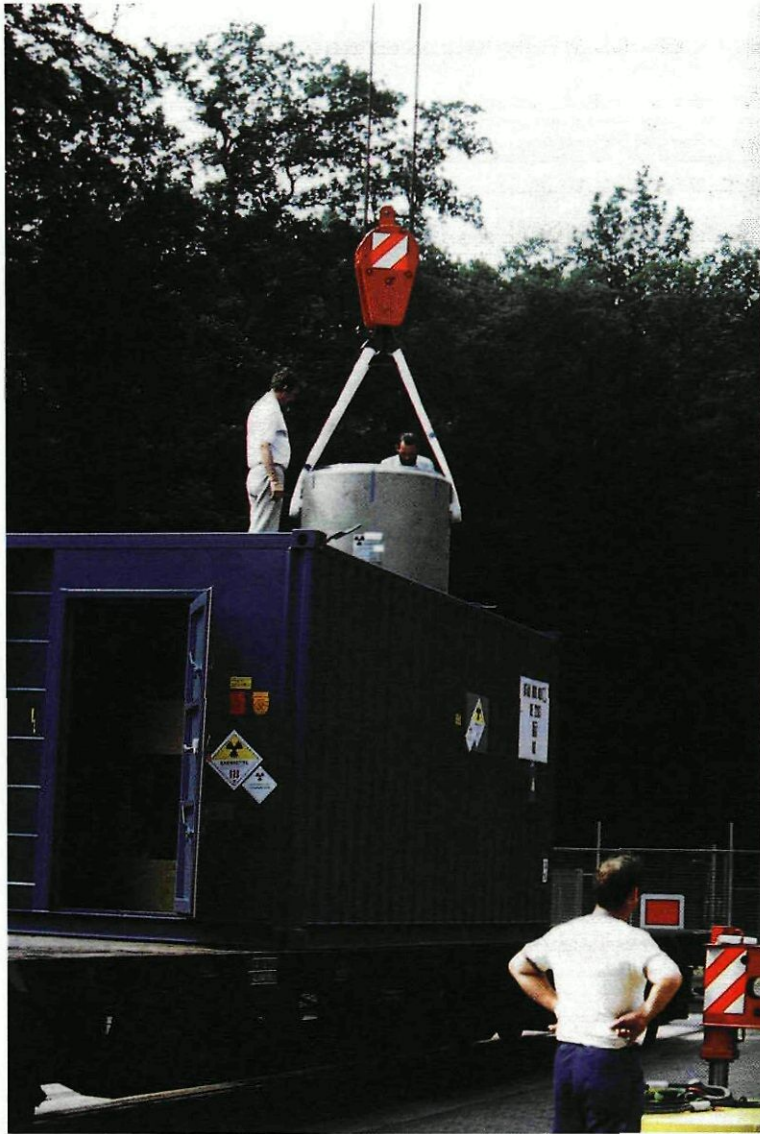
Randbedingungen

- **Jederzeitige Rückholbarkeit der Gebinde**
- **Verwendung derzeit verfügbarer Abfälle (200 I-MAW-Fässer, nach WAK-Technik zementiert, AVR-Trockenlagerkannen)**
- **Einsatz von vorhandenen nicht endlagertypischen Handhabungskomponenten (Kammer 8a-Technik, AVR-BE-Einlagertechnik)**
- **Modifikation der Handhabungskomponenten unter dem Aspekt der Rückholbarkeit und der Versuchsziele**

Abb. 1: Versuchsziele und Randbedingungen

Über die Arbeiten zur Charakterisierung der zur Einlagerung vorgesehenen Abfallgebinde (6 MAW-Fässer, 4 AVR-TL-Kannen) ist bereits eingehend vorgetragen worden. Schwerpunkt dieses Vortrages ist die Vorstellung der Maschinen- und Handhabungstechnik und der Bohrlochausrüstung. Aufgrund der vorgegebenen Randbedingungen, speziell die der Rückholbarkeit, ist das technische Konzept nicht endlagertypisch. Zuerst werden die zur MAW-Faßeinlagerung, danach die zur AVR-Kanneneinlagerung notwendigen Komponenten und schließlich die prinzipielle Bohrlochausrüstung vorgestellt.

Zum Straßentransport der sechs 200 l-MAW-Rollsickenfässer (RSF) von der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) zur KFA Jülich, von dort zur Schachtanlage Asse und zurück wurden zwei Transportbehälter vom Typ CASTOR-MTR-F mit verkehrsrechtlicher Typ B(U)-Zulassung von der Firma Gesellschaft für Nuklear-Service (GNS) gefertigt. Mit diesen Behältern wurden die MAW-RSF von Karlsruhe nach Jülich transportiert. Der Transport erfolgte per Bahn, wobei die beladenen Behälter jeweils als Paar in einem 20' Container untergebracht waren. Abb. 2 zeigt die Entladung der Behälter aus dem 20' Container auf dem Gelände der KFA. In gleicher Weise wird auch der Transport zur Schachtanlage Asse und die Entladung auf dem Schachtgelände erfolgen.



A b. 2: Entladung der mit MAW-Rollsickenfässern beladenen CASTOR-MTR-F-Behälter aus dem 20'-Container auf dem Gelände der KFA

Für die weitere über- und untertägige Handhabung der MAW-RSF in der Schachtanlage Asse sollen zwei förderkorbgängige und mit Bodenschiebern versehene E2-Abschirmbehälter eingesetzt werden. Dieser Behältertyp wurde ursprünglich u.a. für die Einlagerung von 200 l-MAW-Fässern in die Kammer 8a der Schachtanlage gebaut und eingesetzt.

Abb. 3 zeigt die beiden E2-Behälter, die bei KfK für die Versuchsdurchführung angemietet wurden. Aus versuchstechnischen Gründen werden beide Behälter mit neuen Greifern sowie mit ein-

heitlichen, auf andere Komponenten (Umladestation, Bohrlochschieberadapter) angepaßten Positionierhilfen ausgerüstet.

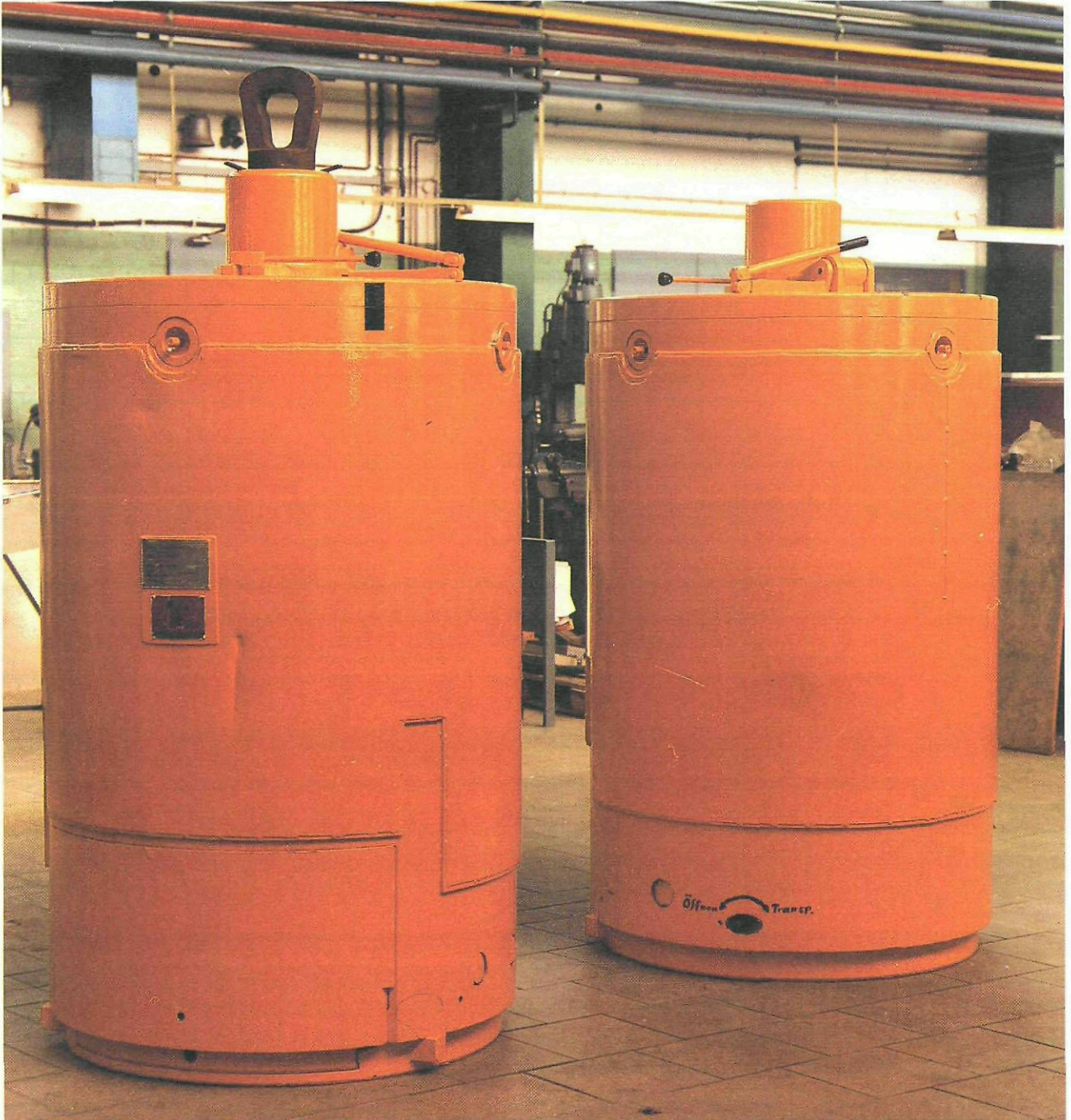


Abb. 3: E2-Abschirmbehälter zur innerbetrieblichen Handhabung der 200 l-MAW-Rollsickenfässer auf der Schachtanlage Asse

Für das Umladen der 200 l-MAW-RSF aus den CASTOR-MTR-F-Behältern in die E2-Behälter (und zurück) ist eine Umladestation erforderlich, die in jeder Phase des Umladevorganges eine ausreichende Strahlenabschirmung gewährleistet. Die Umladestation ist eine Ständertragkonstruktion, die es nach Öffnen von ausschwenkbaren Abschirmsegmenten ermöglicht, einen CASTOR-Behälter auf einem MAFI-CARGO-Trailer in die entsprechende Position in der Umladestation einzufahren. Nachdem der Deckel des CASTOR-Behälters nach oben aus der Umladestation ausgeschleust worden ist, wird ein E2-TB auf die Umladestation aufgesetzt und nach Öffnen der gekoppelten Schieber wird das MAW-RSF in den E2-TB eingezogen (Abb. 4). Das Auf- und Absetzen der E2-TB erfolgt mit dem 10t-Schachthallenkran, während das MAW-RSF mit dem 1t-Seilzug des Schachthallenkrans gehandhabt wird. Letzterer hat zu diesen Zweck als Lastaufnahmemittel ein sog. Greiferoberenteil, das durch den E2-Behälterdeckel mit dem im Behälter befindlichen Greiferunterteil (Faßgreifer) gekoppelt werden kann.

Die Umladestation wird nur für die zur Umladung der sechs MAW-RSF notwendigen Dauer in der Schachthalle aufgebaut, danach wieder abgebaut, gelagert und nach der geplanten 5-jährigen Einlagerungsdauer für Rückbeladung und Abtransport der Fässer in den CASTOR-Behältern wieder aufgebaut. Dies gilt auch, wenn der Einlagerversuch aus versuchs- oder bergtechnischen Gründen vorzeitig abgebrochen werden muß. Für den dann abzuwickelnden schnellen Rückholvorgang (sog. Notrückholung) ist die Umladestation nicht erforderlich, weil vier der sechs MAW-Fässer in der Heißen Zelle der Schachtanlage und zwei direkt in den E2-Behältern zwischengelagert und erst nach erfolgtem Aufbau der Umladestation in die CASTOR-Behälter umgeladen und zur KFA zurück transportiert werden.

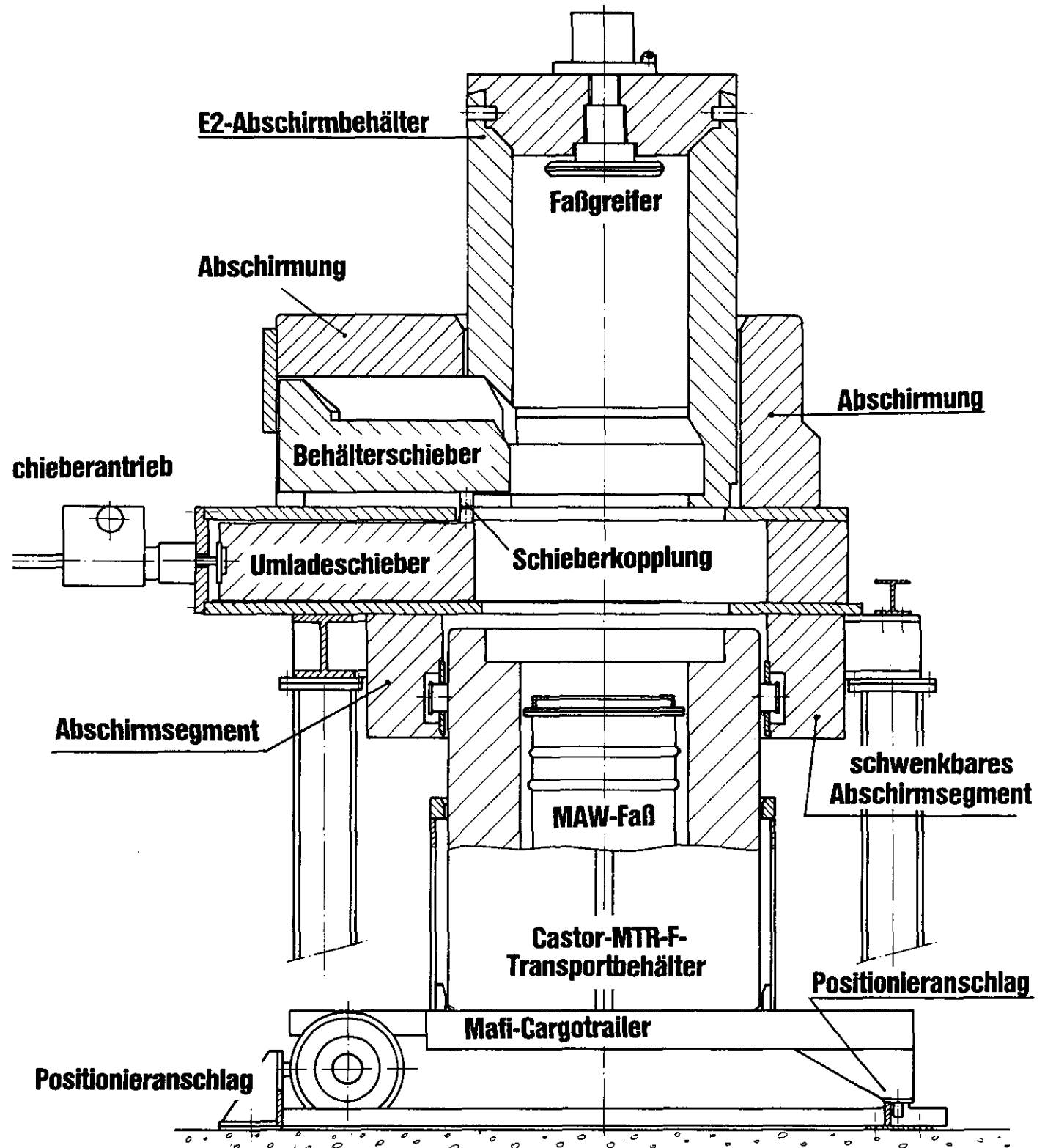


Abb. 4: Umladestation zur Entladung von 200 l-MAW-Rollsickenfässern aus einem CASTOR-MTR-F-Transportbehälter in einen E2-Abschirmbehälter

Für den Straßentransport und die über- und untertägige Handhabung der vier zur Einlagerung vorgesehenen AVR-Trockenlager (TL)-Kannen in der Schachtanlage Asse soll der AVR-Transportbehälter eingesetzt werden, der eine Kanne mit 950 abgebrannten HTR-BE (Typ AVR-BE) aufnehmen kann.

Der Behälter wurde in den siebziger Jahren im Zusammenhang mit der Erprobung der Endlagerung von 100 AVR-Kannen mit 100.000 AVR-BE in Bohrlöchern auf der 750 m-Sohle der Schachtanlage Asse entwickelt und gebaut. Die Endlagerung der Brennelemente erfolgte jedoch nicht.

Der Behälter ist ein Typ B (U) Behälter, der zur KFA-internen Entsorgung des Versuchsreaktors AVR auch heute noch eingesetzt wird und für den deshalb die Typ B (U)-Zulassung jeweils aktualisiert wurde und wird. Abb. 5 zeigt den mit Stoßdämpfern versehenen und auf der Transportpalette verspannten AVR-Transportbehälter.

Der Behälteraufbau und das Gewicht ist mit dem der E2-Behälter vergleichbar. Der Behälter ist förderkorbgängig und verfügt über die gleichen Lastanschlagmittel (schwenkbare Lastanhängerglocke) sowie der darunterliegenden Bohrung, durch die das sog. Greiferoberenteil eingefahren und mit dem im Behälter befindlichen Greiferunterteil (Kannengreifer) gekoppelt werden kann. Die Ausschleusung der Kanne erfolgt ebenfalls mit einem 1t-Zug durch den Bodenschieber des Behälters. Der Antransport und die Handhabung des Behälters in der Schachtanlage bis zur Einlagerung der Kannen in das dafür vorgesehene Bohrloch können daher ohne Umladung erfolgen. Die entsprechenden Hub-,Transport- und Hilfsmittel sind in der Schachtanlage vorhanden.

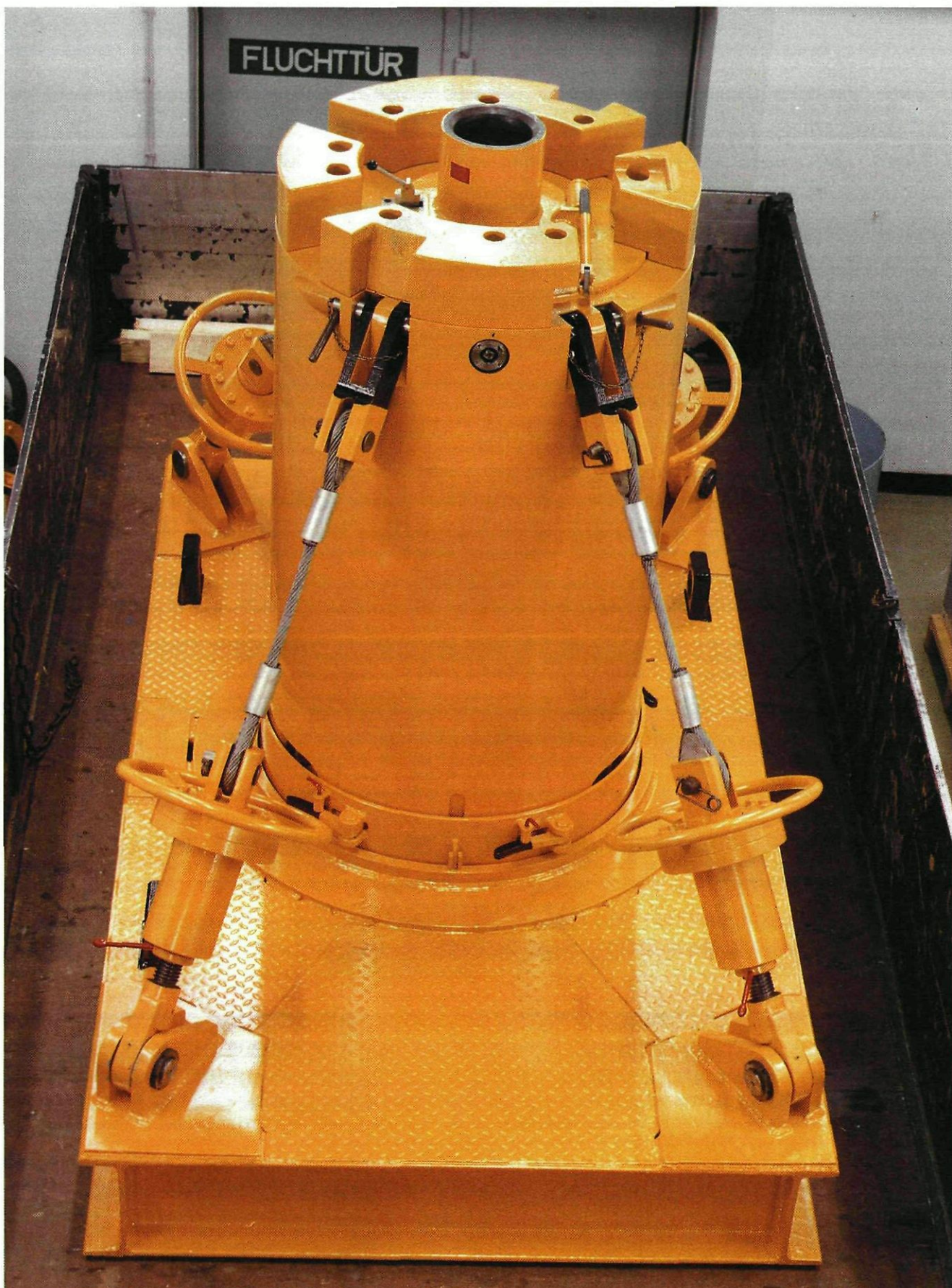


Abb. 5: AVR-Transportbehälter auf Transportpalette verspannt

Da die KFA den Behälter aus betriebsinternen Gründen nicht für einen längeren Zeitraum entbehren kann, andererseits aber für die sog. Notrückholung der Kannen jederzeit ein Behälter in der Schachtanlage zur Verfügung stehen muß, wird die Fertigung eines zweiten baugleichen Behälters erforderlich. Im Falle der Notrückholung werden drei der vier Kannen ebenfalls in die Heiße Zelle eingeschleust und zusammen mit der vierten im Transportbehälter verbleibenden Kanne bis zum Abtransport nach Jülich zwischengelagert.

Sowohl der E2 - als auch der AVR-Behälter werden in der Schachthalle mit einem Flurfahrzeug (Dieselstapler mit 10t-Kranausleger) in den Förderkorb eingesetzt und am Füllort auf der 800 m-Sohle mit einer 10t-Krananlage abgezogen und auf das Asse-Transportfahrzeug (Sonderkonstruktion auf der Basis eines Magirus-Deutz LKW) abgesetzt. Mit diesem wird dann der söhlige Transport vom Füllort bis in die MAW-Versuchsstrecke EV durchgeführt (Abb. 6).

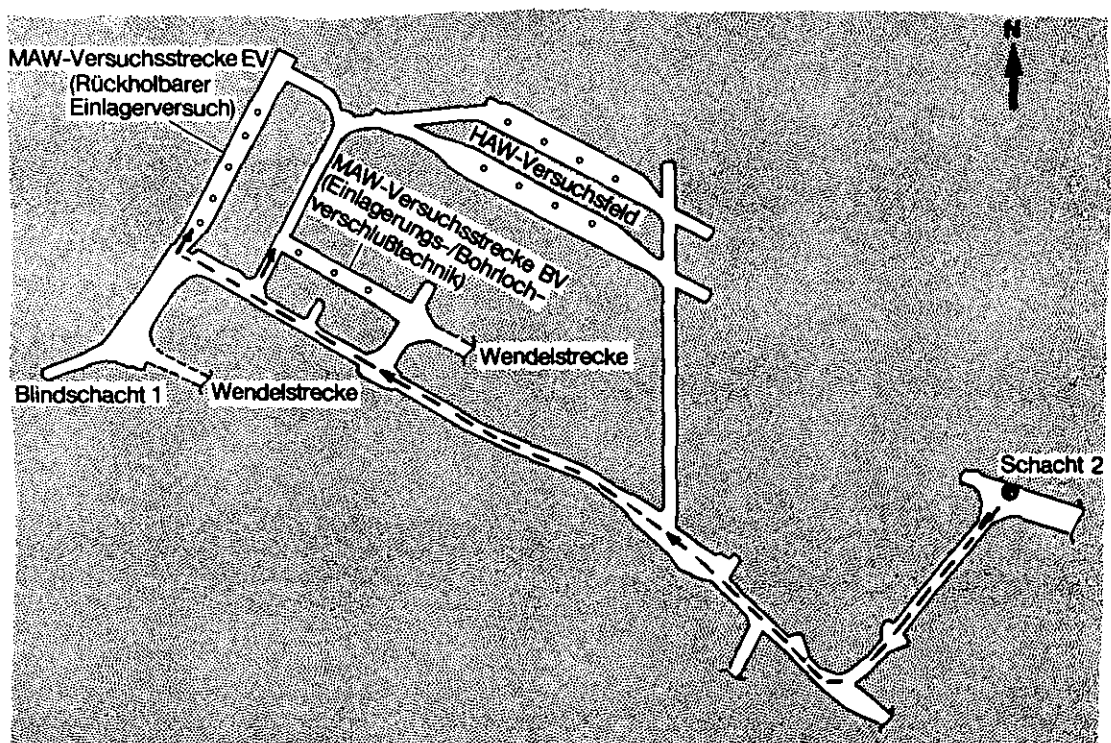


Abb. 6: Transportweg vom Füllort zur MAW-Versuchsstrecke EV

Das Abheben vom Transportfahrzeug und das Aufsetzen der Behälter auf die entsprechenden Bohrlochschieber erfolgt jeweils mit den 10t-Elektrozügen der über den 3 aktiv zu beladenen Bohrlöchern vorgesehenen 10t/1t-Krananlagen (Abb. 7).

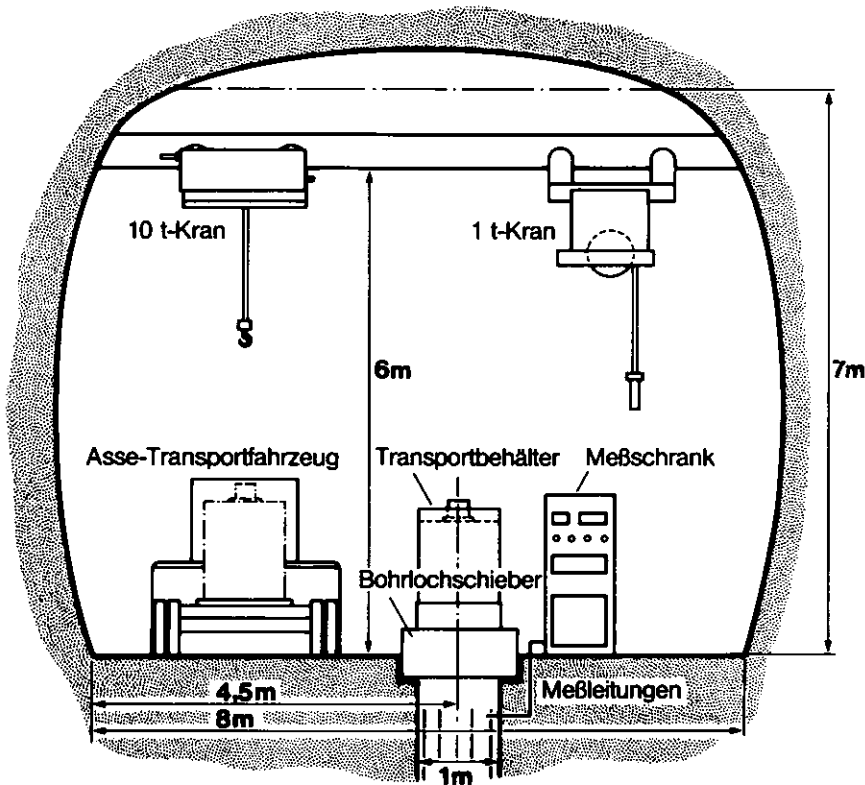


Abb. 7: Querschnitt durch die Versuchsstrecke mit 10t/1t-Krananlage, Transportfahrzeug und -behälter, Bohrlochschieber und Meßschrank (schematisch)

Zwei Bohrlöcher, in die jeweils 3 MAW-RSF eingelagert werden sollen, werden mit sog. E2-Bohrlochschiebern (Abb. 8) und das Bohrloch, in das die AVR-TL-Kannen eingelagert werden sollen, wird mit dem sog. AVR-Bohrlochschieber (Abb. 9) ausgerüstet.

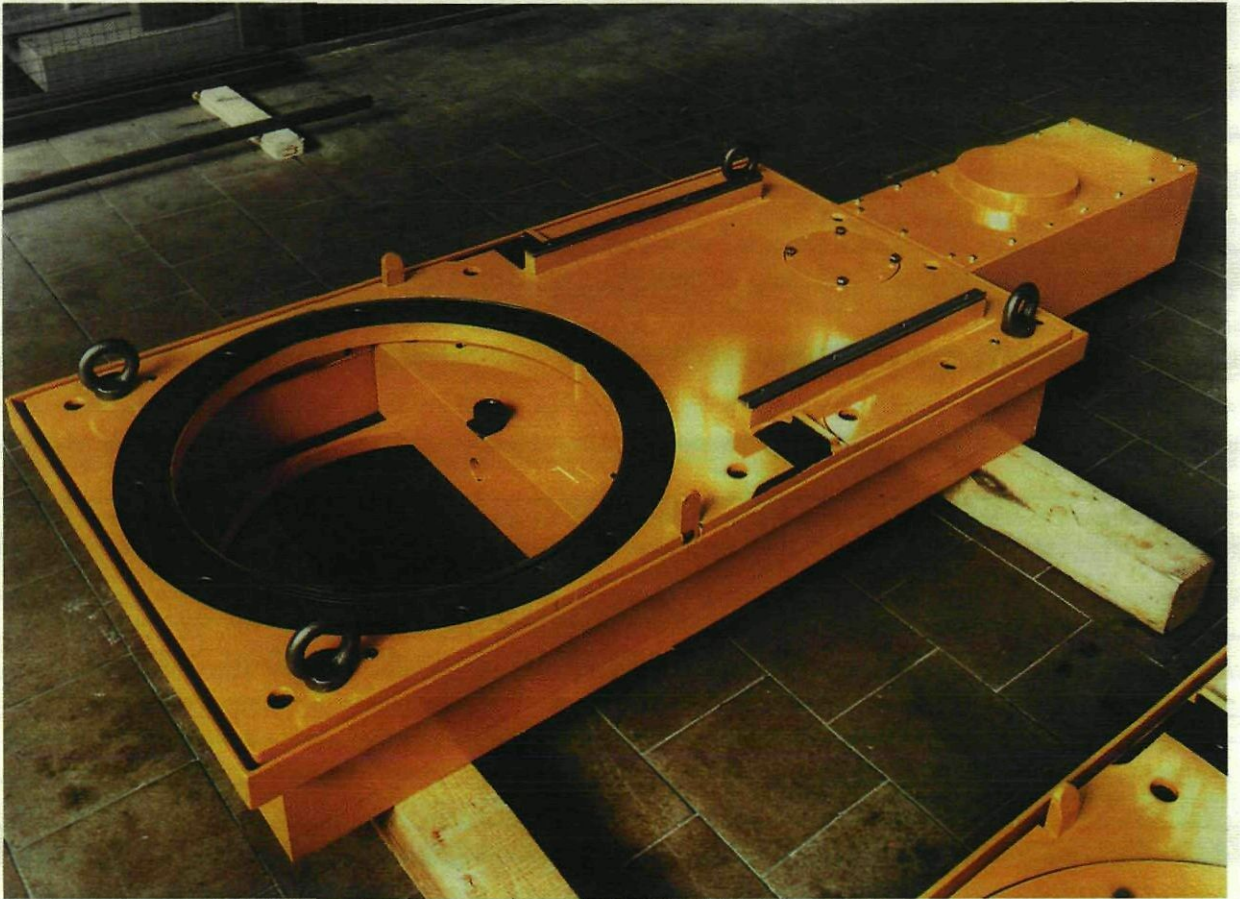


Abb. 8: E2-Bohrlochschieber ohne Behälterpositionier- und Abschirmadapter



Abb. 9: AVR-Bohrlochschieber

Die Bohrlochschieber sollen quer zur Streckenachse auf die mit Bohrlochkopfauskleidungen versehenen Bohrlöchern installiert werden und verbleiben dort für die Dauer der Versuchseinlagerung.

Die Bodenschieber der Behälter werden beim Aufsetzen mechanisch mit den Schieberplatten der Bohrlochschieber verbunden und können über dessen Schieberantrieb aufgefahren werden.

Mit dem 1t-Zug der Krananlage können dann die Abfallgebinde durch die Behälter hindurch in die jeweiligen Bohrlöcher abgesenkt werden.

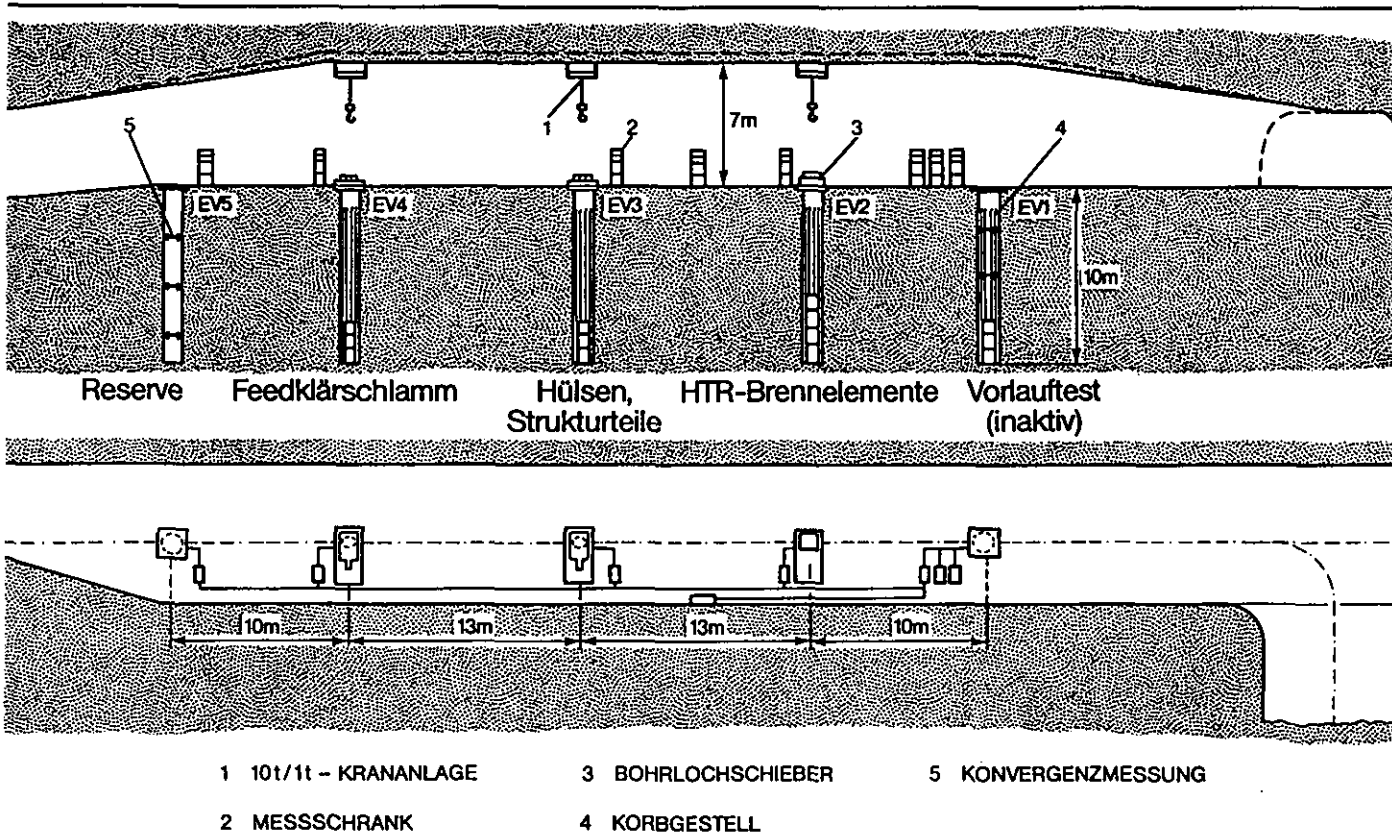


Abb. 10: Schematische Darstellung der maschinen- und geräte-technischen Ausrüstung der Versuchsstrecke

In die unverrohrten Bohrlöcher werden sog. Korbgestelle eingebracht, die eine genaue Gebindepositionierung, Führung der Greifer und damit die Rückholbarkeit der Gebinde gewährleisten. Vom Bauprinzip her werden die Korbgestelle nur durch ihre Eigengewichte und die dadurch in den Auflagepunkten verursachten Reaktionskräften beansprucht. Weder auf den Korbgestellboden abgesetzte Lasten (Vorlaufbohrloch: elektrisch beheizte Fässer; Einlagerungsbohrlöcher: Abfallgebände) noch die konvergenzbedingte Verringerung der Bohrlochdurchmesser führen zu zusätzlichen Belastungen, weil einerseits die Lastabtragung des Korbgestellbodens in den Bohrlochgrund erfolgt und andererseits das Gestell auf die Bohrlochkonvergenz mit einer nach oben gerichteten Hubbewegung reagiert, die durch die Rollen- bzw. Kugelabstützung nicht behindert wird.

Der einhüllende Durchmesser der Korbgestelle beträgt ca. 790 mm (Vorlauf- und MAW-Bohrloch) bzw. ca. 720 mm (AVR-Bohrloch), d.h. es ergeben sich Abstände zu den Bohrlochwandungen von ca. 100 mm bzw. 140 mm. Bereits durchgeführte thermomechanische Rechnungen zur Bohrlochkonvergenz zeigen, daß ein Auflaufen des Gebirges auf die Korbgestelle für die geplante Versuchsdauer von ca. 5 Jahren ausgeschlossen werden kann. Unabhängig davon soll der Abstand an jedem Korbgestell in 5 Meßebenen mit jeweils 3 Abstandsmeßsystemen am Umfang kontinuierlich überwacht werden.

Auf einer Länge, die der Höhe der gestapelten Abfallgebinde entspricht, werden auf den unteren Teil der Korbgestelle Mantelheizungen aufgebracht, die ein Anheben der Bohrlochtemperaturen auf ein endlagerrelevantes Temperaturniveau (ca. 20°C Temperaturdifferenz zur ungestörten Gebirgstemperatur) ermöglichen. In Abb. 11 ist die Ausrüstung eines Bohrlochs schematisch dargestellt.

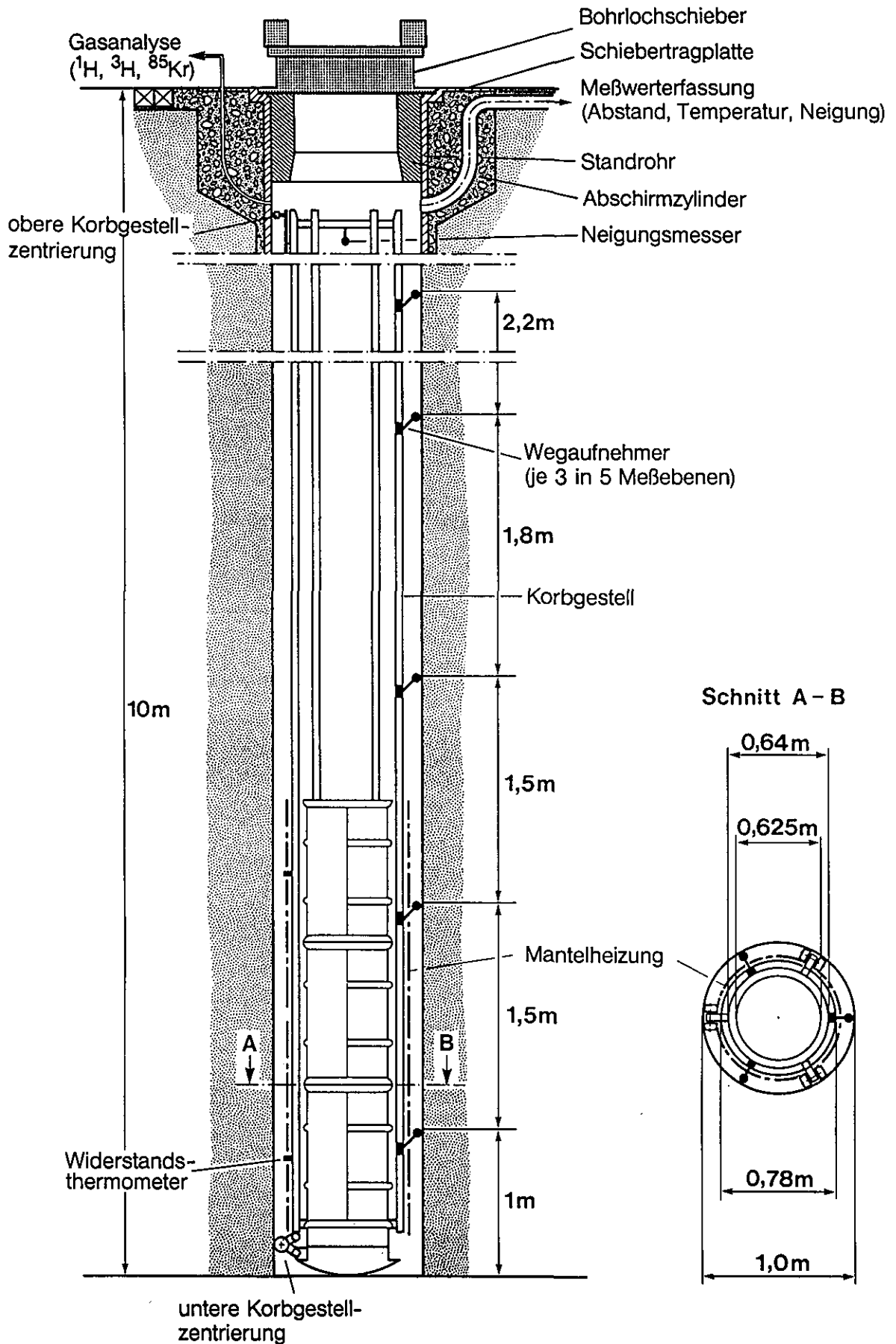


Abb. 11: Ausrüstung eines mit 3 MAW-Fässern beladenen Bohrlochs in der MAW-Versuchsstrecke EV

Zur Gewährleistung der Rückholbarkeit ist es dabei notwendig, daß die Korbgestellachsen und die Achsen der Schieberöffnungen fluchten. Deshalb werden die Bohrlöcher mit sog. Bohrlochkopfauskleidungen ausgerüstet, die die Zentrierung der Korbgestelle und Schieberöffnungen auf die Bohrlochachsen gewährleisten.

Für den Einbau der Bohrlochkopfauskleidungen war es notwendig, die Bohrlöcher auf eine Länge von ca. 1,5 m auf einen Durchmesser von ca. 1,2 m anzusenken (Abb. 12).

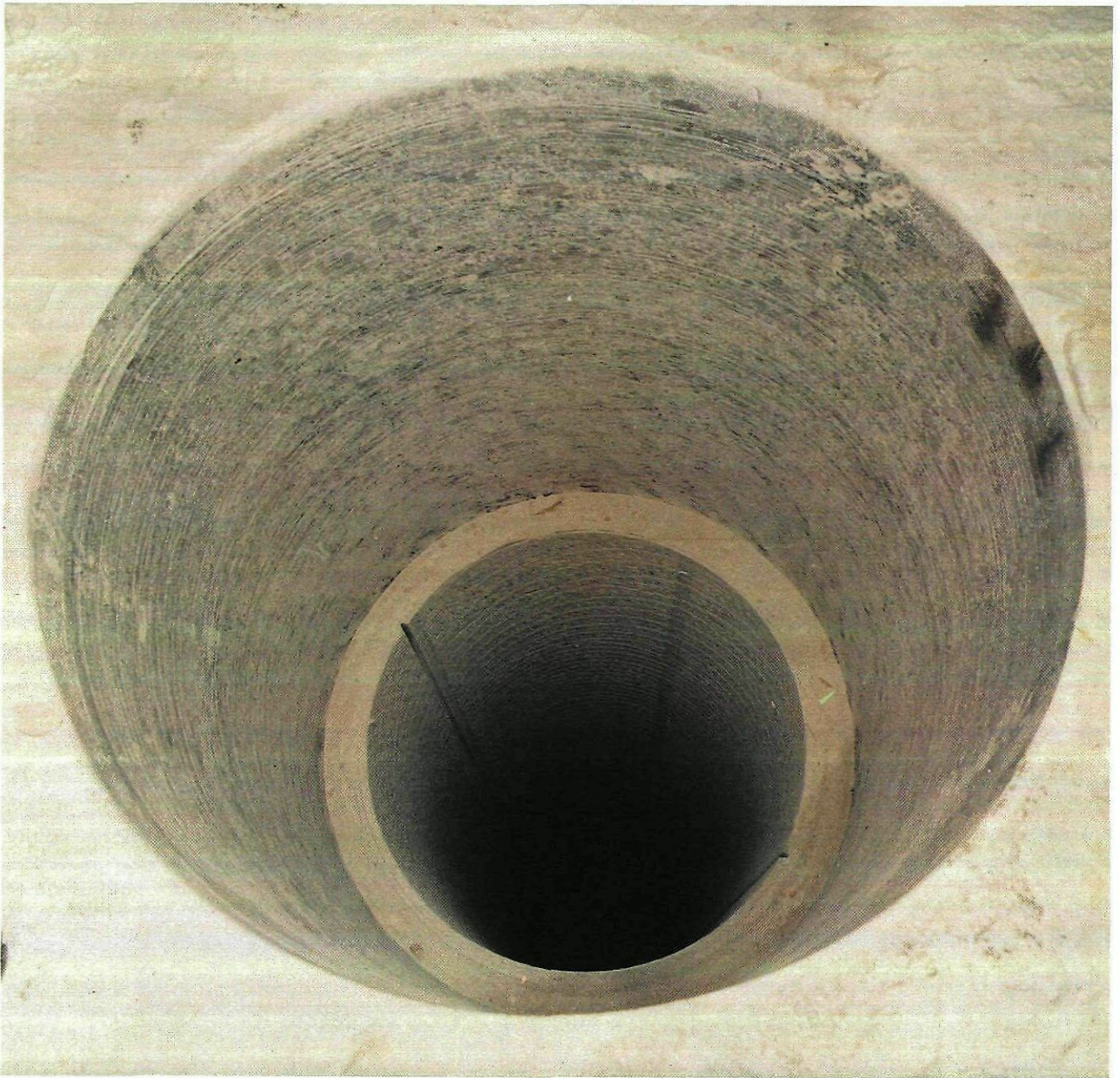


Abb. 12: Einlagerungsbohrloch (Durchmesser 1000 mm) mit Ansenkung (Durchmesser 1200 mm)

Die Ansenkungen dienen zur Aufnahme von Standrohren, auf die dann Tragplatten aufgesetzt und verschraubt werden. Sowohl die Ringspalte als auch der Freiraum unter den Tragplatten wird mit einem gießfähigen und aushärtenden Expoxidharz/Quarzsand-Gemisch hinterfüllt.

In die Befüllöffnung der in die Tragplatten eingeschweißten Flansche sind Absätze mit abgestuften Durchmessern eingedreht, die dazu dienen, die Abschirmzylinder in die Bohrlochkopfauskleidungen einzuhängen und die an den Unterseiten der Bohrlochschieber befindlichen Zentrierflansche aufzunehmen.

Da sich die Zentriereinrichtungen der Korbgestelle auf den Wandungen der Standrohre abstützen, ist die Ausrichtung der Korbgestellachsen auf die Schieberöffnungen gewährleistet.

In die Bohrlochkopfauskleidungen sind weiter Durchführungen integriert, die dazu dienen, Meß- und Energieversorgungskabel und Gasmeßleitungen aus den Bohrlöchern herauszuführen bzw. ein Endoskop zur optischen Inspektion der Bohrlöcher einzuführen. In Abb. 13 ist der Ausbau eines Bohrlochkopfes schematisch dargestellt.

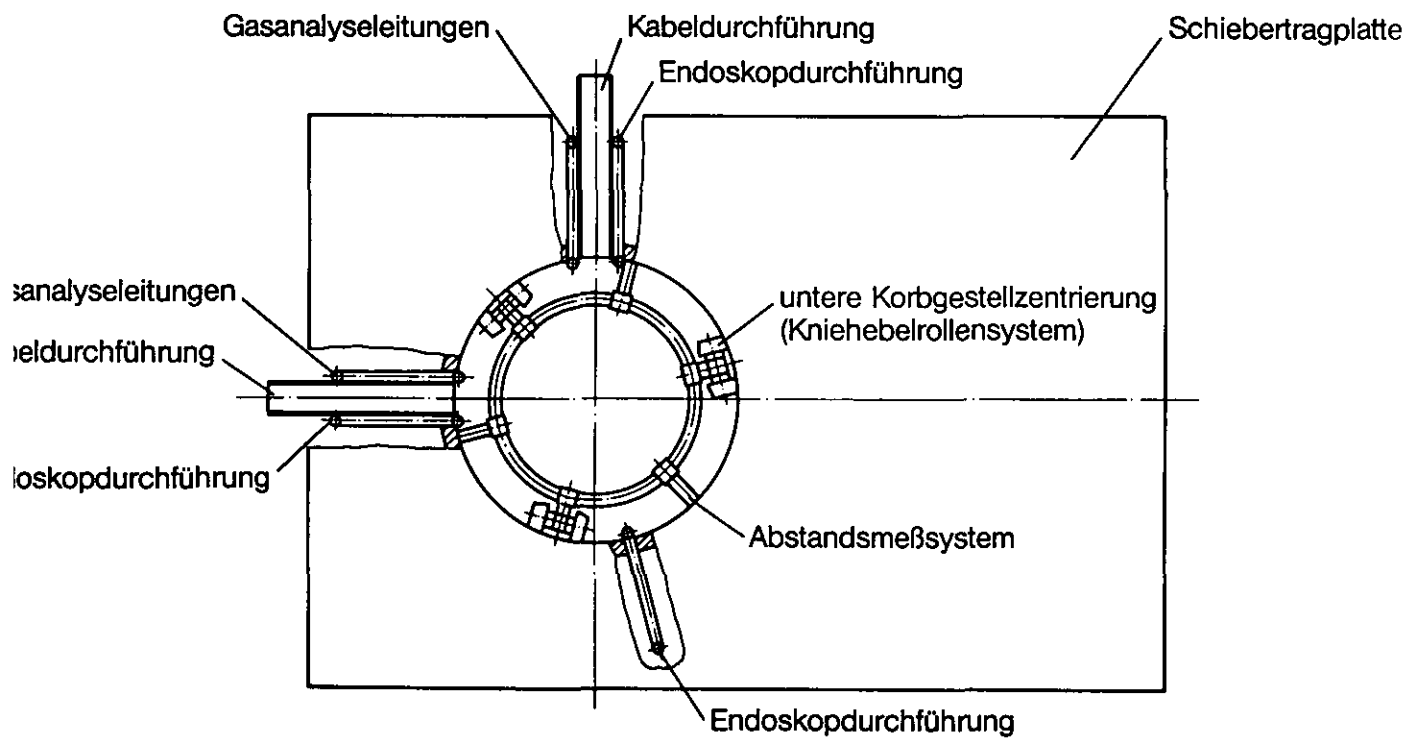
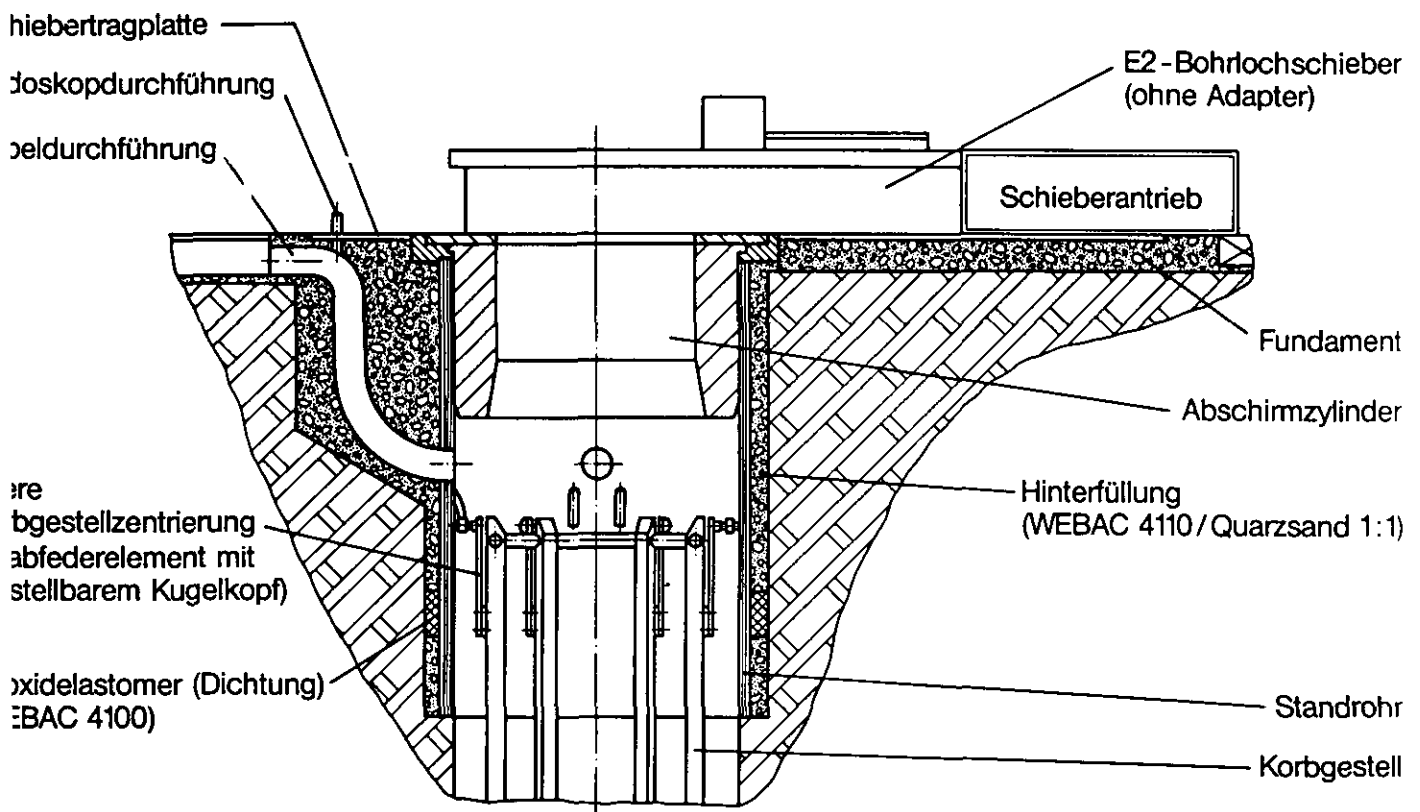


Abb. 13: Ausbau des Bohrlochkopfes

Wie anhand der Darstellung der Bohrlochausrüstung deutlich wurde, ist die geometrische Lage und Integrität der Korbgestelle in den Bohrlöchern maßgebend für die Rückholbarkeit der Abfallgebinde. Um neben der vorgesehenen Überwachung der geometrischen Lage und Integrität der Korbgestelle (Abstandsmessung, Neigungsmessung und optische Inspektion) bereits vor der Einlagerung der Abfallgebinde die gesamte Bohrlochausrüstung und Instrumentierung, insbesondere das konvergenzbedingte Verhalten eines Korbgestells zu testen, wird ein Vorlauftest durchgeführt. Dabei wird ein baugleiches und vollinstrumentiertes Korbgestell in das sog. Vorlaufbohrloch (EV1) eingesetzt, in welches ebenfalls eine baugleiche Bohrlochkopfauskleidung eingebaut ist. In das Korbgestell werden als eine Säule die elektrisch beheizten 200 l-RSF eingesetzt (Abb. 14).

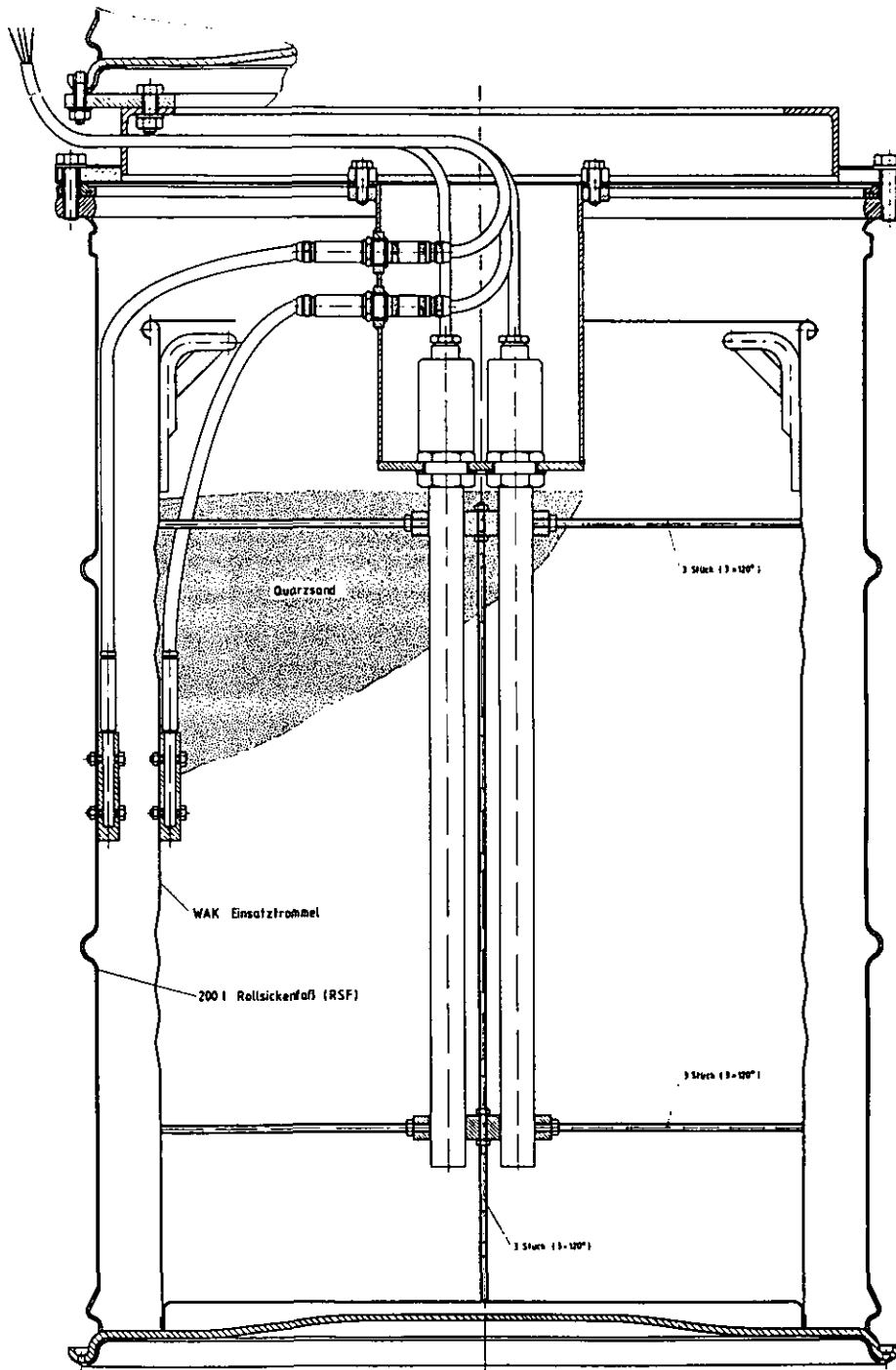


Abb. 14: Instrumentierung eines 200 l-Rollsickenfasses mit Temperaturfühlern und elektrischen Stabheizpatronen für den Vorlauftest

Da hier keine Strahlenabschirmung notwendig ist, entfallen die bei den anderen Bohrlöchern vorgesehenen Abschirmzylinder und die Bohrlochschieber. Das Bohrloch wird mit einem Deckel gegen die Strecke abgedichtet, in den Scheinwerfer zur Ausleuchtung und Schaugläser zur optischen Überwachung integriert sind. Oberhalb der Faßsäule werden in zwei Teufen jeweils zwei verschieden ausgerichtete Konvergenzmeßgeräte im Bohrloch gespannt, so daß hier die Bohrlochkonvergenz bei erhöhten Temperaturen gemessen werden kann (Abb. 15).

Im Gegensatz zu den Konvergenzmeßgeräten liefern die an dem Korbgestell angebrachten Abstandsmeßsysteme keine genauen Werte für die Bohrlochkonvergenz, weil die an der Bohrlochwand anliegenden Meßrollen bei der konvergenzbedingten Hubbewegung des Korbgestells ihre Meßposition verändern. In Abb. 16 ist ein am Korbgestell montiertes Abstandsmeßsystem dargestellt. Von der Meßrolle wird die radiale Verringerung des Bohrlochwandabstandes über einen in einer Längsstrebe (U-Profil) des Korbgestells gelagerten Meßhebel auf ein Drehpotentiometer übertragen. Die Drehpotentiometer sind strahlenbeständig ($D \leq 10^9 \text{ rad}$), gekapselt und werden in Spannungsteilerschaltung betrieben, so daß langfristige Drifteffekte kompensiert werden. Während beim Vorlaufbohrloch einfache Drehpotentiometer eingesetzt werden (Reparaturmöglichkeit) werden die anderen Korbgestelle mit redundanten Drehpotentiometern ausgerüstet.

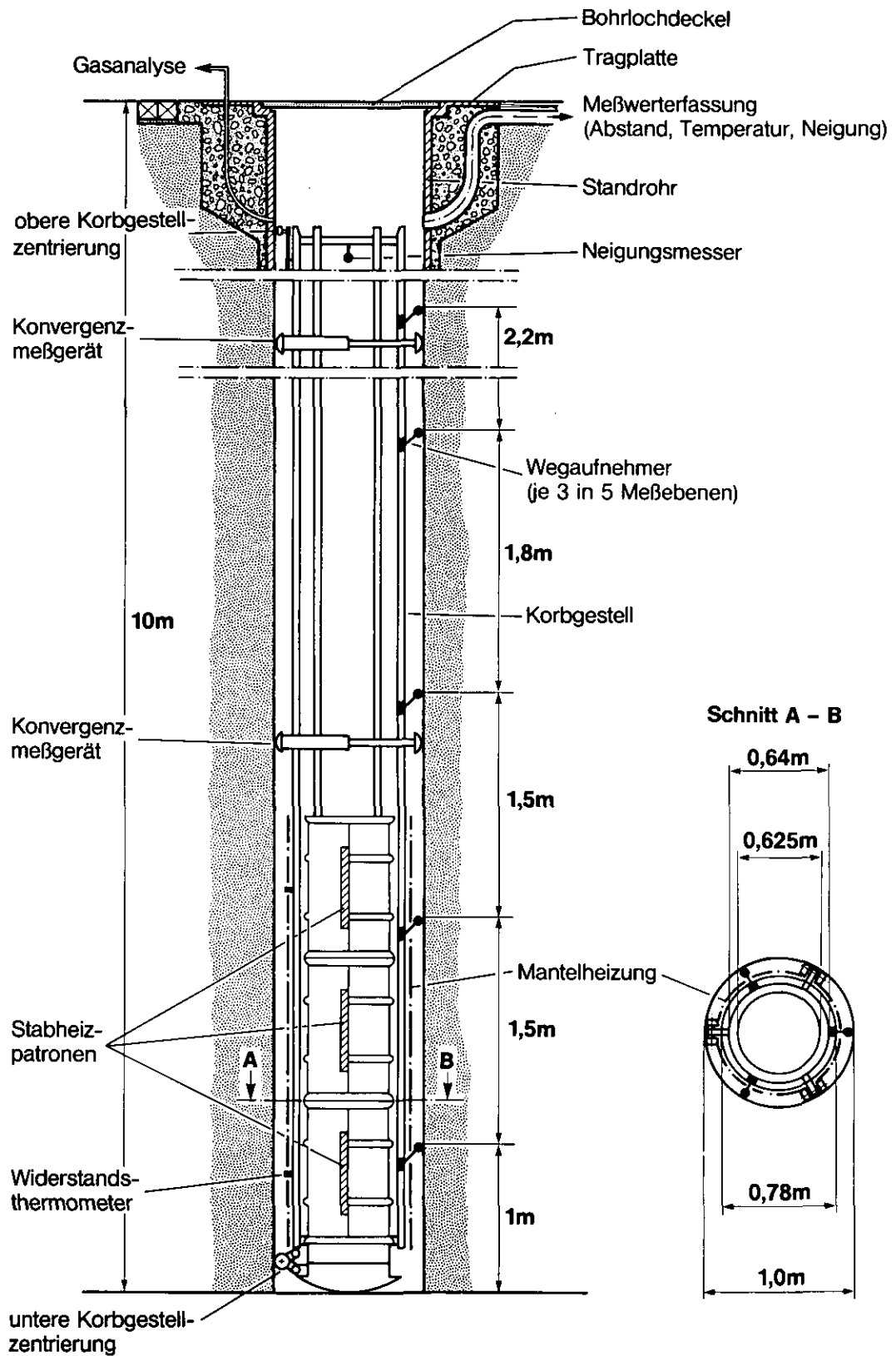


Abb. 15: Ausrüstung und Instrumentierung des Vorlaufbohrloches

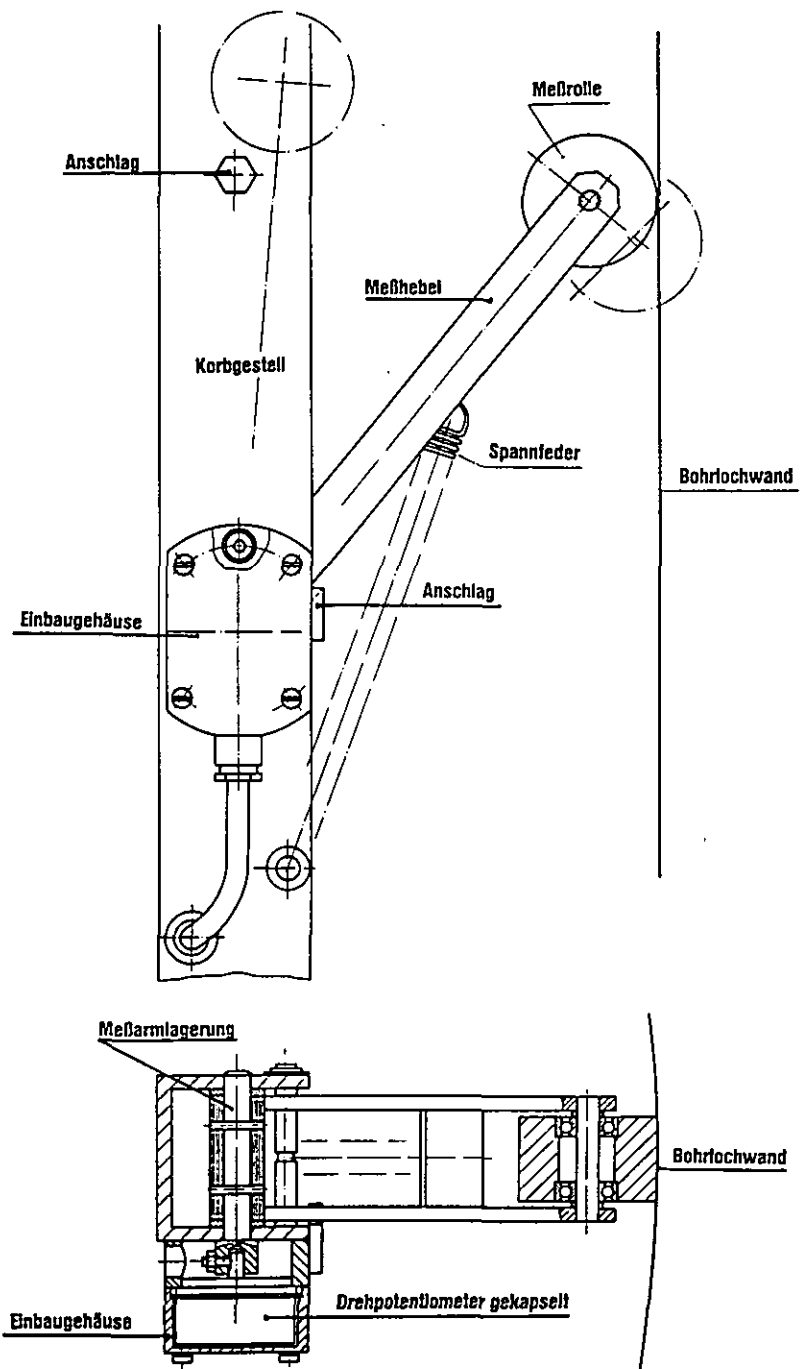


Abb. 16: Wegaufnehmersystem zur Überwachung des Abstandes zwischen Korbgestell und Bohrlochwand

Mit dem Vorlauf test, der 1/2 - 1 Jahr vor der aktiven Inbetriebnahme starten soll, Langzeitbestrahlungstest an vorgesehenen Meßsystemen (Drehpotentiometer, Widerstandsthermometer, Kabel) in der KFA, durch die jederzeit mögliche Beobachtung des Ringspalts, durch ein abgestimmtes und entsprechend ausgelegtes Handhabungskonzept sowie eine sorgfältig geplante meßtechnische Instrumentierung wird eine wesentliche Genehmigungsvoraussetzung, nämlich die jederzeitige Rückholbarkeit, gewährleistet werden können.

ERFASSUNG UND VERARBEITUNG DER MESSDATEN BEIM
MAW- UND HTR-BE-EINLAGERVERSUCH

Teil I: Erfassung der Meßdaten mit Dataloggern

Kornelius Kroth

Kernforschungsanlage Jülich GmbH
Institut für Chemische Technologie
der Nuklearen Entsorgung

Einleitung

Unter den Projektpartnern, GSF-Ift und KFA-ICT, besteht hinsichtlich der Arbeiten zur Erfassung und Verarbeitung der Meßdaten eine klare Aufgabenteilung.

Im Rahmen dieser Aufgabenteilung ist die KFA verantwortlich für die Auswahl und Installation der Meßwertgeber, die in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Einlagerversuch benötigt werden. Währenddessen erfolgt die Bestückung der Einlagerversuchsstrecke mit geomechanischer Instrumentierung in Verantwortung der GSF.

Für die Erfassung und Verarbeitung von Meßdaten von verschiedenen auf der Schachanlage Asse geplanten Einzelversuchen wird von der GSF eine zentrale Datenerfassungsanlage realisiert. Im Rahmen dieses Konzept wird jedem Einzelversuch ein Front-End-Processor (FEP) zugeordnet, der die experimentspezifischen Datenerfassungsaufgaben zu übernehmen hat.

Die MAW-Datenerfassung wird in die zentrale Datenerfassung Asse integriert, wobei dem Versuch ein eigener MAW-FEP zugeordnet wird. Dieser Teil der Arbeiten obliegt der GSF. Hierüber wird Herr Dr. Henze in seinem Vortragsteil berichten.

Die ersten Meßdaten aus der geomechanischen und der Bohrlochinstrumentierung werden im 3. Quartal 1987 anfallen. Zu diesem Zeitpunkt wird die Zentraldatenerfassungsanlage Asse mit ihrem experimentzugeordneten MAW-FEP voraussichtlich noch nicht zur Verfügung stehen. Zur vorübergehenden Erfassung der dann anfallenden Meßdaten wird in der EV-Versuchsstrecke eine Datenerfassungsanlage installiert, die auf zwei identischen Dataloggern basiert. Auf diese soll im Folgenden näher eingegangen werden:

Instrumentierung

a) Geomechanische Instrumentierung (Abb.1)

Firste, Sohle und die beiden seitlichen Stöße der Einlagerversuchsstrecke werden mit Extensometern bestückt. Die Geräte dienen der Erfassung der Verformung des die Strecke umgebenden Salzgebirges. Insgesamt werden 16 Mehrfachextensometer mit 60 Einzelmeßstrecken eingesetzt. Die Verformung des Gebirges wird über das Extensometergestänge auf einen potentiometrischen Wegaufnehmer übertragen. Eine nachgeschaltete Umformerlektronik liefert einen Stromausgang 0-20 mA, der proportional zur Längenänderung der Meßstrecke ist.

Weiterhin wird die Einlagerversuchsstrecke mit 71 Widerstandsthermometern vom Typ Pt-100 bestückt. Ein Teil der Temperaturfühler dient der Erfassung der Salztemperaturen in unmittelbarer Nähe der aufgeheizten Einlagerbohrlöcher. Die restlichen Temperaturfühler werden in den Extensometerbohrungen installiert. Sie erfassen die Gebirgstemperaturen an den Ankerpunkten der Extensometer. Die Auswirkungen von zeitlichen Änderungen der Gebirgstemperaturen auf die Deformationsmessungen werden anhand dieser Temperaturmeßpunkte rechnerisch korrigiert.

Die Temperatur des Meßschrankes für die Erfassung der geomechanischen Meßdaten wird überwacht. Ebenso wird eine Überwachung der Netzversorgung durchgeführt. Die Niederspannungen zur Versorgung der Extensometer werden ebenfalls erfaßt. Zu diesem Zweck werden in dem Meßschrank entsprechende Meßumformer eingebaut, deren Ausgänge von der Datenerfassungsanlage erfaßt werden.

b) Bohrlochsensorik (Abb. 2)

Der Abstand zwischen der Bohrlochwand und dem in das Einlagerbohrloch eingebrachten Korbgestell wird mit Hilfe von Abstandsmeßsystemen überwacht. Kernstück dieses Systems ist ein potentiometrischer Drehgeber, dessen Ausgangsspannung (0-8V) ein Maß für den Sicherheitsabstand darstellt. Jedes

der befüllten Bohrlöcher (drei mit radioaktiven Abfällen und ein Vorlaufbohrloch) wird mit 15 solcher Abstandsmeßsysteme bestückt.

Die Neigung des Korbgestells gegenüber der Senkrechten wird mit einem x-y-Inklinometer überwacht. Das Inklinometer liefert zwei Ausgangsspannungen (0-8V), aus denen mit Hilfe einer Kalibrierfunktion die x- bzw. y-Neigung berechnet werden kann.

Die vier aufgeheizten Bohrlöcher werden mit 35 Widerstandsthermometern vom Typ Pt-100 bestückt. Sie dienen der Erfassung der Temperaturen der Bohrlochatmosfera an unterschiedlichen Aufpunkten.

Da die Bohrlochtemperaturen z.T. sicherheitsrelevanten Charakter haben, müssen diese redundant erfaßt werden. Deshalb werden diese Temperturmeßstellen mit Pt-100-Meßumformern ausgerüstet, deren Ausgänge mehrfach verwendbar sind.

Die vier Bohrlöcher werden durch elektrische Heizungen (Mantelheizung in allen vier Bohrlöchern, zusätzlich beheizte "dummy"-Fässer im Vorlaufbohrloch) auf ein endlagerrelevantes Temperaturniveau gebracht. Zur Erfassung der elektrischen Heizleistung, die in den "dummy"-Fässern verbraucht wird, werden drei Leistungsumformer eingesetzt. Die in den Mantelheizungen verbrauchte elektrische Leistung wird mit jeweils einem Spannungs- und einem Stromumformer ermittelt. Zur Registrierung der stabilisierten und der unstabilisierten Versorgungsspannung werden entsprechende Meßumformer verwendet. Die Temperaturen in den Meßschranken werden mittels Pt- 100 registriert.

Datenerfassung

Datenerfassungsanlage (Grundausbaustufe bis zur Inbetriebnahme der zentralen Datenerfassungsanlage Asse)

Zum Zeitpunkt der inaktiven Inbetriebnahme des MAW-Einlagerversuchs wird die Zentraldatenerfassungsanlage Asse mit dem experimentzugeordneten MAW-FEP voraussichtlich noch nicht zur Verfügung stehen. Bis zu diesem Zeitpunkt wird der MAW-Einlagerversuch mit einer Grundausbaustufe der Datenerfassungsanlage betrieben, die aber allen Anforderungen bezüglich redundanter Erfassung und Protokollierung der sicherheitsrelevanten Meßdaten Rechnung trägt. Kernstück der Datenerfassungsanlage sind zwei identische Datalogger vom Typ 2280B der Firma Fluke. Die wesentlichen Datenerfassungsfunktionen der eingesetzten Datalogger gehen aus der Abb. 3 hervor.

Der eine Datalogger (mit "KFA" in Abb. 4 bezeichnet) dient der Erfassung und Verarbeitung aller Meßdaten, die von den im Rahmen der Bohrlochinstrumentierung eingesetzten Meßwertgebern erzeugt werden.

Die in der Bohrlochinstrumentierung eingesetzten Meßfühler werden zunächst einem Rangierverteiler zugeführt. Dieser Verteiler beinhaltet eine Handmeßeinrichtung, mit der die Versorgungs- und Meßleitungen der sicherheitsrelevanten Meßfühler mit Hilfe von Meßstellenumschaltern auf entsprechende Meßbuchsen geschaltet werden können. Bei einem gleichzeitigen Ausfall der redundanten Datenerfassungsanlagen können die Widerstandswerte der potentiometrischen Abstandsmeßsysteme und der Widerstandsthermometer an diesen Meßbuchsen mit Hilfe von batteriebetriebenen Widerstandsmeßgeräten von Hand ermittelt werden. Die Handmeßeinrichtung stellt die unterste Meßdatenerfassungsebene für die sicherheitsrelevanten Meßdaten dar. Sie erlaubt eine diskontinuierliche Erfassung der sicherheitsrelevanten Meßdaten, wenn die übergeordneten redundanten Erfassungsebenen vorübergehend ausgefallen sein sollten.

Von dem Rangierverteiler ausgehend, werden die Meßleitungen aller Meßfühler der Bohrlochinstrumentierung auf die Eingangskarten des KFA-Dataloggers verdrahtet. Zur redundanten Erfassung der sicherheitsrelevanten Meßdaten, werden die Meßleitungen dieser Meßfühler zusätzlich den entsprechenden Eingangskarten des GSF-Dataloggers zugeführt.

Diese Grundausbaustufe der Meßdatenerfassungsanlage erlaubt eine redundante Erfassung der sicherheitsrelevanten Meßdaten mit zwei weitgehend identischen Erfassungssystemen.

In dieser Grundausbaustufe der Datenerfassungsanlage werden die Meßfühler aus der geomechanischen Instrumentierung der EV-Strecke unmittelbar den Eingangs-Scannern des GSF-Dataloggers zugeführt. Die Meßfühler aus der geomechanischen Instrumentierung haben keinen sicherheitsrelevanten Charakter. Eine redundante Erfassung dieser Meßdaten kann deshalb entfallen.

Die Datalogger scannen die Eingangskanäle zyklisch ab. Dabei werden die analogen Meßspannungen auf ein digitales Präzisionsvoltmeter mit 16 Bit Auflösung durchgeschaltet. Nach der analog-digital-Wandlung werden die digitalen Rohmeßwerte auf physikalisch sinnvolle Einheiten umgerechnet. Hierzu sind die Datalogger jeweils mit einem Mathematik-Prozessor ausgerüstet, der einfache mathematische Operationen und Verknüpfungen mit den Rohmeßwerten erlaubt.

Die Meßprotokolle der Datalogger werden über eine Modemstrecke nach Übertage übertragen und auf einem Protokolldrucker ausgedruckt.

Jeder Eingangskanal der Datalogger kann mit einem unteren und einem oberen Grenzwert belegt werden. Bei Unterschreitung bzw. Überschreitung dieser Grenzwerte wird zusätzlich zu dem üblichen Meßprotokoll ein Alarmprotokoll auf dem Drucker ausgedruckt.

Der KFA-Datalogger, der in der 2. Ausbaustufe der Datenerfassungsanlage die redundante Erfassung der sicherheitsrelevanten Meßdaten übernimmt, besitzt eine weitere Möglichkeit der Alarmgebung. Dieser Datalogger ist ausgerüstet mit einer digitalen Ausgangskarte, über die eingetretene Alarmzustände hardwaremäßig über das Schachtkabel weitergeleitet und übertage auf einer Alarmtafel angezeigt werden. Zusätzlich werden diese Hardwarealarmzustände an einer vor Ort in der EV-Strecke untergebrachten Alarmtafel angezeigt.

Datenerfassungsanlage (Endausbaustufe mit Zentraldatenerfassung Asse und MAW-FEP)

Zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Zentraldatenerfassungsanlage Asse mit dem experimentenzugeordneten MAW-Front-End-Processor (FEP) werden die Datenerfassungsaufgaben unter den verschiedenen Datenerfassungsgeräten umverteilt (siehe Abb. 5).

Die im Rahmen der geomechanischen Instrumentierung eingesetzten Meßfühler werden von dem GSF-Datalogger abgelegt und auf die Eingangskarten des MAW-FEP aufgelegt. Der GSF-Datalogger hat dann keinerlei Erfassungsaufgaben mehr und kann entfallen. Von dem Rangierverteiler ausgehend, werden alle Meßfühler (sicherheitsrelevante und nicht sicherheitsrelevante) von dem MAW-FEP verarbeitet. Der KFA-Datalogger übernimmt dann nur noch die redundante Erfassung der sicherheitsrelevanten Meßdaten mit der unabhängigen Alarmgebung über das Schachtkabel.

Geomechanische Sensorik

1.	Extensometer	6 x 5-fach	= 30	0-20 mA
		5 x 4-fach	= 20	0-20 mA
		2 x 3-fach	= 6	0-20 mA
		3 x 2-fach	= <u>4</u>	0-20 mA
			60	0-20 mA

2.	Widerstandsthermometer			
	Pt-100 Vierleitertechnik	71	100-138	Ω

3.	Meßschranküberwachung			
	Temperatur, Netzversorgung		0-20	mA
	Erdschluß	<u>6</u>	0-24	V
	Summe	137		

Abb. 1: Geomechanische Instrumentierung der MAW-EV-Strecke in der Asse

BOHRLOCHSENSORIK

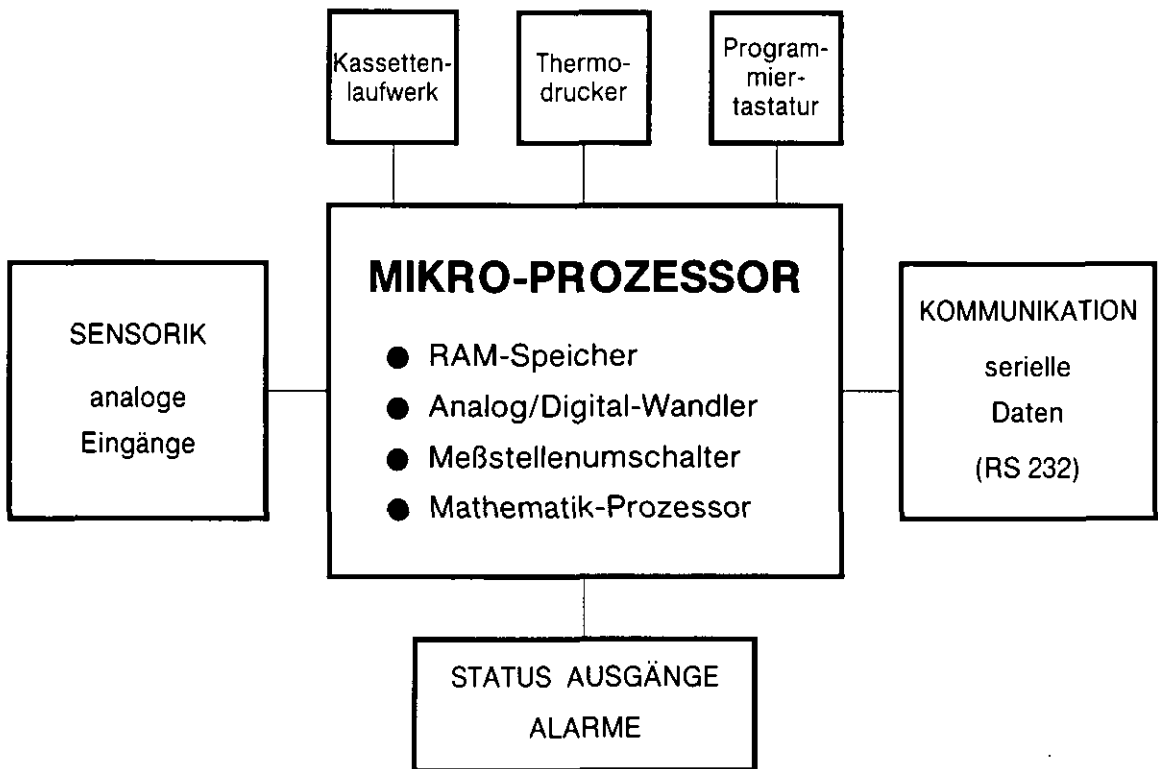
1.	Wegaufnehmer	4 x 15 = 60	0-8 V
	Drehpotentiometer		

2.	X-Y-Inklinometer	4 x 2 = 8	0-8 V
----	------------------	-----------	-------

3.	Widerstands- thermometer Pt-100		
	CMR-Meßumformer	35	0-20 mA

4.	Meßschrank- und Heizungsüberwachung		
	Meßumformer	38	0-20 mA
	Schaltkontakte	—	0-24 V
	Summe	141	

Abb. 2: Bohrlochinstrumentierung beim MAW-EV-Versuch



Funktionen des Dataloggers

- zyklisches Durchschalten der Analogsignale
- digital – analog Wandlung
- Umrechnung auf physikalisch sinnvolle Einheiten
- Überprüfung auf Grenzwertüberschreitung
- Alarmauslösung
- Meßprotokollausgabe

Abb. 3: Datenerfassungsfunktion des Dataloggers

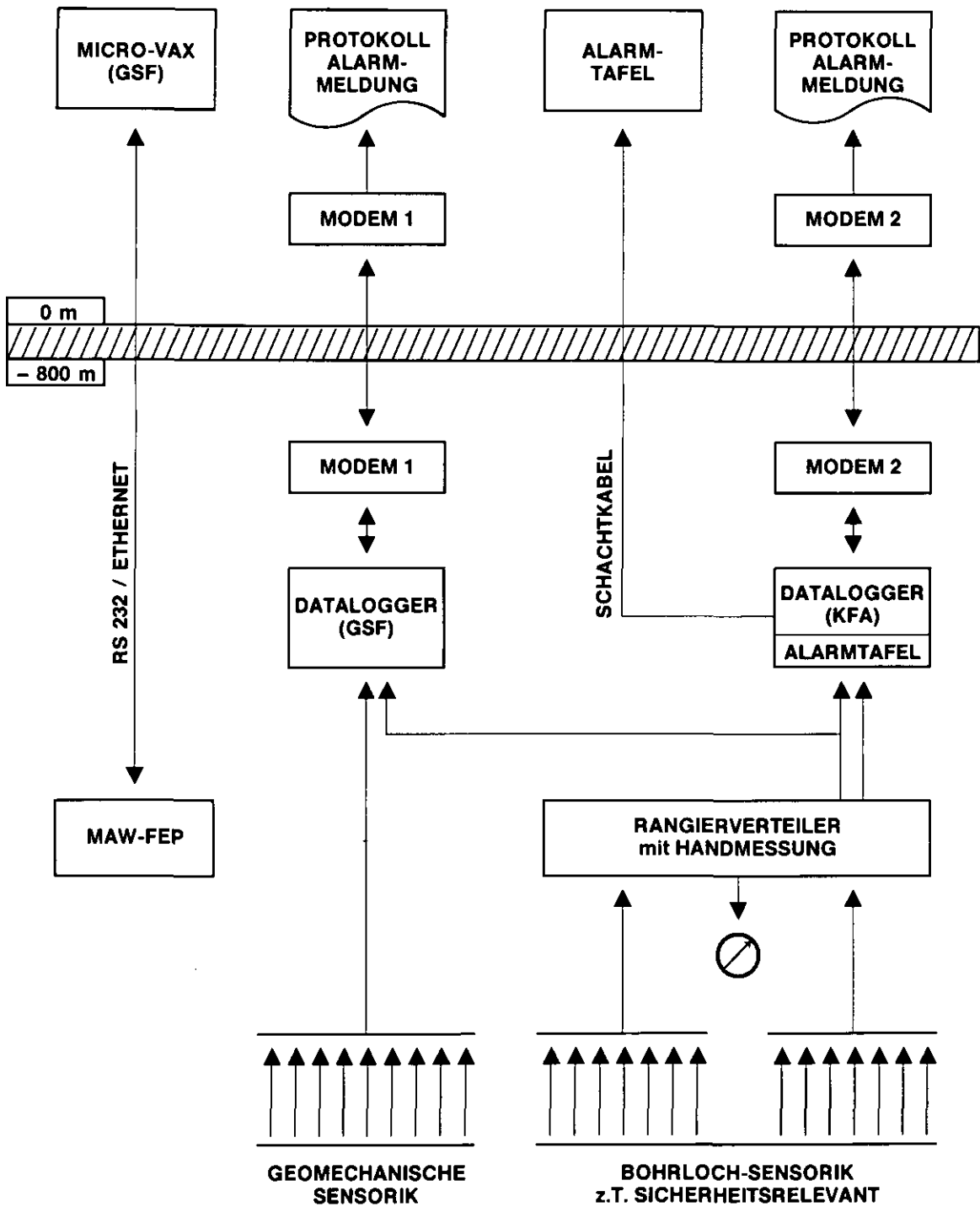


Abb. 4: Meßdatenerfassungsanlage für den MAW-EV-Versuch
(Grundbaustufe)

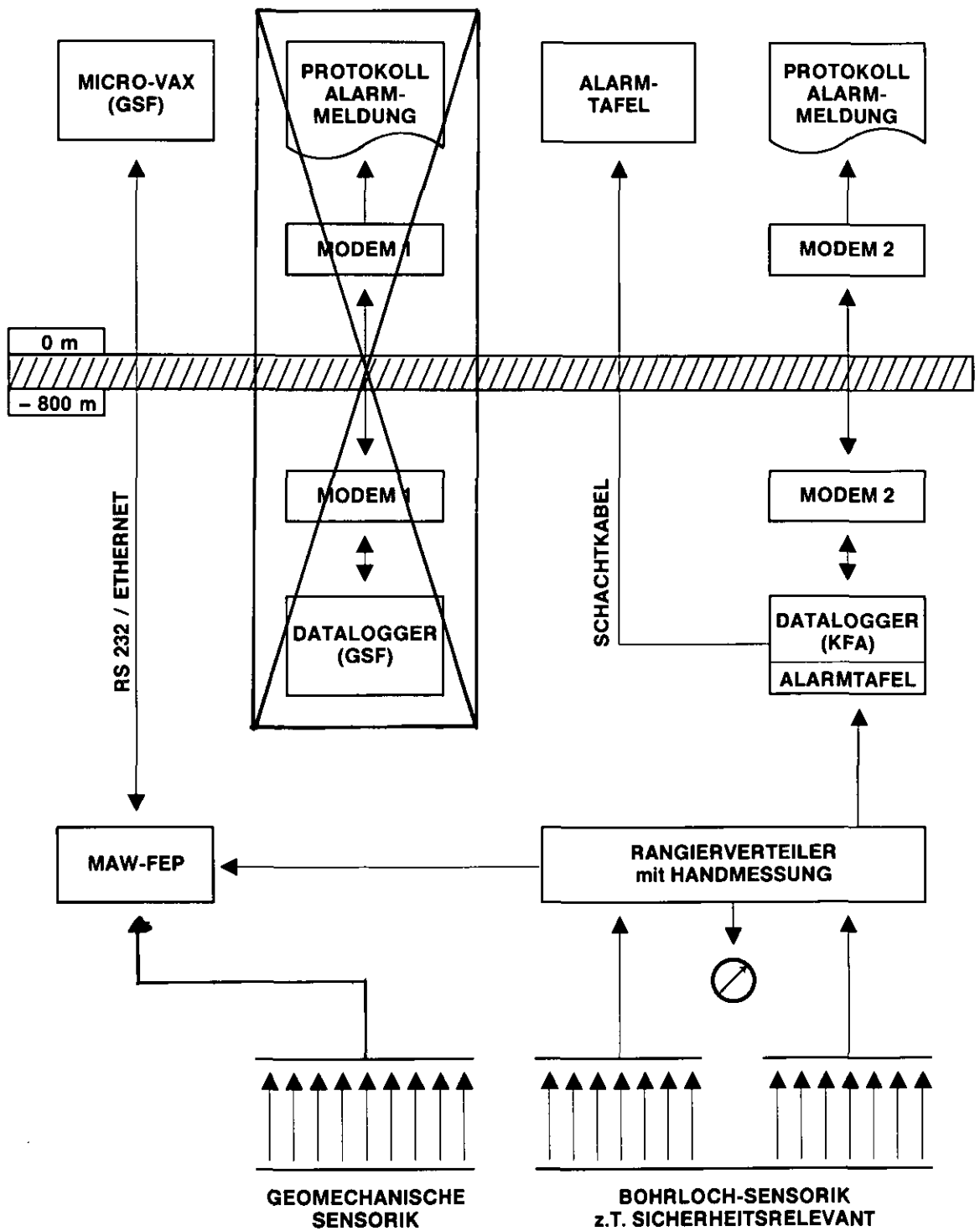


Abb. 5: Meßdatenerfassungsanlage für den MAW-EV-Versuch (Endausbaustufe)

ERFASSUNG UND VERARBEITUNG DER MESSDATEN BEIM
MAW- UND HTR-BE-EINLAGERUNGSVERSUCH

Teil II: Zentrale Komponenten der Datenerfassung in der Asse

Rolf Henze

Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München
Institut für Tieflagerung

1 EINLEITUNG

Die GSF führt in der Schachtanlage Asse wissenschaftliche Experimente zur Endlagerung radioaktiver Abfälle durch. Die rechnergestützte Meßdatenerfassung hat dabei folgende Aspekte zu berücksichtigen.

- Es fallen große Datenmengen an, für die eine lückenlose Erfassung gewährleistet sein muß.
- Zur Auswertung soll ein einfacher und schneller Zugriff auf die Daten möglich sein.
- Die fortlaufende Versuchsüberwachung soll dem Experimentator eine übersichtliche Beobachtung des laufenden Experiments gestatten, damit der Versuchsablauf beurteilt und gegebenenfalls beeinflußt werden kann.
- Sicherheitsrelevante Experimente benötigen eine automatische Überwachung und ein zuverlässiges Alarmsystem.
- Die besonderen Umgebungsbedingungen untertage beeinflussen sowohl die technische Realisation der Komponenten als auch ihre räumliche Verteilung.

Die Versuche werden oft (wie bei der MAW- und HTR-Versuchseinlagerung) unter Beteiligung anderer Institutionen durchgeführt. Diese benötigen einen Zugriff auf Meßdaten und Versuchsbeobachtung von entfernten Standorten aus.

2 AUFGABENSPEZIFIKATION

Die Aufgaben zur Meßdatenerfassung und -verarbeitung sind in der folgenden Liste dargestellt. Sie lassen sich in drei Kategorien unterteilen:

I Erfassung

- Meßdatenkollektion
- Datenprüfung
- Alarmdefinition

II Datensicherung, Versuchsüberwachung

- Zwischespeicherung
- Datenkompression, -filter
- Ausgabe vor Ort, Überwachung
- Alarmverarbeitung

III Endauswertung

- Archiv
- Auswertung
- Präsentation

3 AUFGABENVERTEILUNG AUF VERSCHIEDENE KOMPONENTEN

Die besonderen räumlichen Randbedingungen legen eine Aufgabenverteilung auf drei verschiedene Komponenten nahe:

- a. Versuchszugeordnete Frontendrechner (FEP) für die Datenerfassung, mit wenigen und einfachen Komponenten für die erschwerten Umgebungsbedingungen untertage.
- b. Ein übertägiger Zentralrechner, der die Aufgaben -Datenzwischen-speicherung, Darstellung vor Ort, Versuchsüberwachung, Alarmmeldung und Datenfernübertragung zur Endauswertung wahrnimmt.

- c. Ein lokales Netzwerk (LAN) verbindet die FEPs mit dem Zentralrechner. Es soll die FEPs möglichst weitgehend von Netzwerkaufgaben (Datenübertragungsprotokollen) entlasten und eine flexible Installation neuer Versuche erlauben.
- d. Die durchzuführenden Aufgaben zur Endauswertung, die Datenarchivierung und Aufbereitung zur Präsentation geschieht in den Instituten der am Versuch beteiligten Partner.

Abbildung 1 zeigt eine Darstellung der Komponenten der Datenverarbeitung und eine Skizze des Datenflusses.

4 BESCHREIBUNG DER EINZELNEN KOMPONENTEN

4.1 ZENTRALRECHNER

Der übertägige Zentralrechner ist eine MicroVAX II-Anlage der Firma Digital Equipment. Die Konfiguration zeigt Abbildung 3. Für die Datenfernübertragung (DFÜ) zum Institutsrechner ist eine Datex-P-Schnittstelle vorhanden.

4.2 NETZWERK

Zur Übertragung von Daten zum Zentralrechner wurde ein lokales Netzwerk (PLANET, Racal Milgo) ausgewählt. Die Zuverlässigkeit der Datenübertragung soll durch die im folgenden erläuterten Netzwerkeigenschaften erreicht werden.

Es handelt sich um ein Token-Ring-Netz mit maximal 500 anschließbaren Knoten. Das Token-Ring-Protokoll sichert eine ausreichende Datendurchsatzrate auch bei hoher Auslastung des Netzwerks. Die Verbindungsleitungen sind Koaxial- bzw. Lichtleiterkabel, so daß eine hohe Stör-

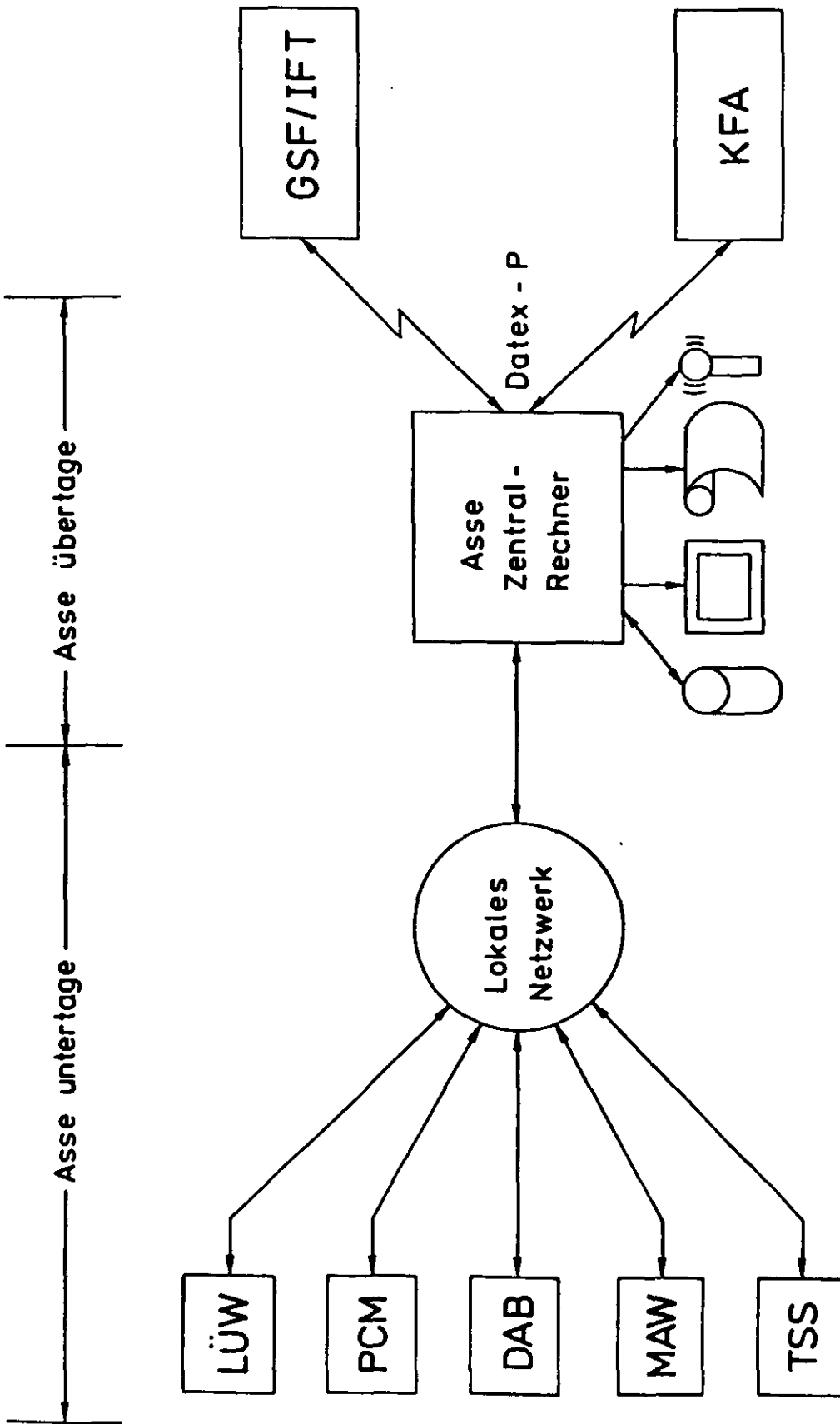


Abb. 1: Komponenten der Datenerfassungsanlage in der Schachtanlage
Asse mit Darstellung der Datenflüsse

sicherheit gewährleistet ist. Redundanz ist durch Doppelverlegung der Kabel und automatische Rekonfiguration des Netzes bei Kabelschäden gegeben.

Den Zugang der Knotenrechner (FEPs, Zentralrechner) zum Netz vermittelt eine allgemeine, einfache Schnittstelle RS232C (V24). Dadurch ist eine breite Palette von Rechnern und Datenerfassungsgeräten anschließbar. Das Netz ist protokolltransparent, d.h. Netzwerkaufgaben (Übertragungsprotokoll) werden ausschließlich von der Eigenintelligenz des Netzes erledigt. Eine Skizze der PLANET-Konfiguration zeigt Abbildung 2.

Die Erstellung des Netzwerks geschieht in zwei Stufen. Zunächst werden die 750 m- und 800 m-Sonle über vorhandene Koaxleitungen in Schacht 4 angebunden (siehe Abbildung 4). Im zweiten Schritt wird das Netz über ein Lichtleiterkabel in Schacht 2 geführt. Dadurch wird einerseits die Störsicherheit auf dem langen Kabelweg im Schacht erhöht, andererseits gewährleistet die Verlegung des Netzes in zwei Schächten eine zusätzliche Sicherheit bei Kabelbeschädigungen durch äußere Einwirkungen.

4.3 DATENFERNÜBERTRAGUNG

Zwischen Datenerfassung und Auswertung sind verschiedene Datenübertragungsprotokolle eingeschaltet. Einige Komponenten sind in Abbildung 5 aufgelistet. In der obersten, anwendungsbezogenen Protokollschicht sind Protokolle, die den Transport von Meßdaten, Verwaltungsdaten und Alarmer organisieren sowie einen interaktiven Dialogbetrieb zwischen Zentralrechner oder Institutsrechner und den FEPs ermöglichen. Darunter liegen auf der DFÜ-Seite DECnet und Datex-P (X.25).

Auf dem LAN innerhalb der Schachtanlage sind die unteren Ebenen ein Meßwertübertragungsprotokoll auf der Basis von DIN 66348, Teil 1, V28 und schließlich (transparent) das Token-Ring-Protokoll des LAN.

6 RS232C Schnittstellen vom Zentralrechner

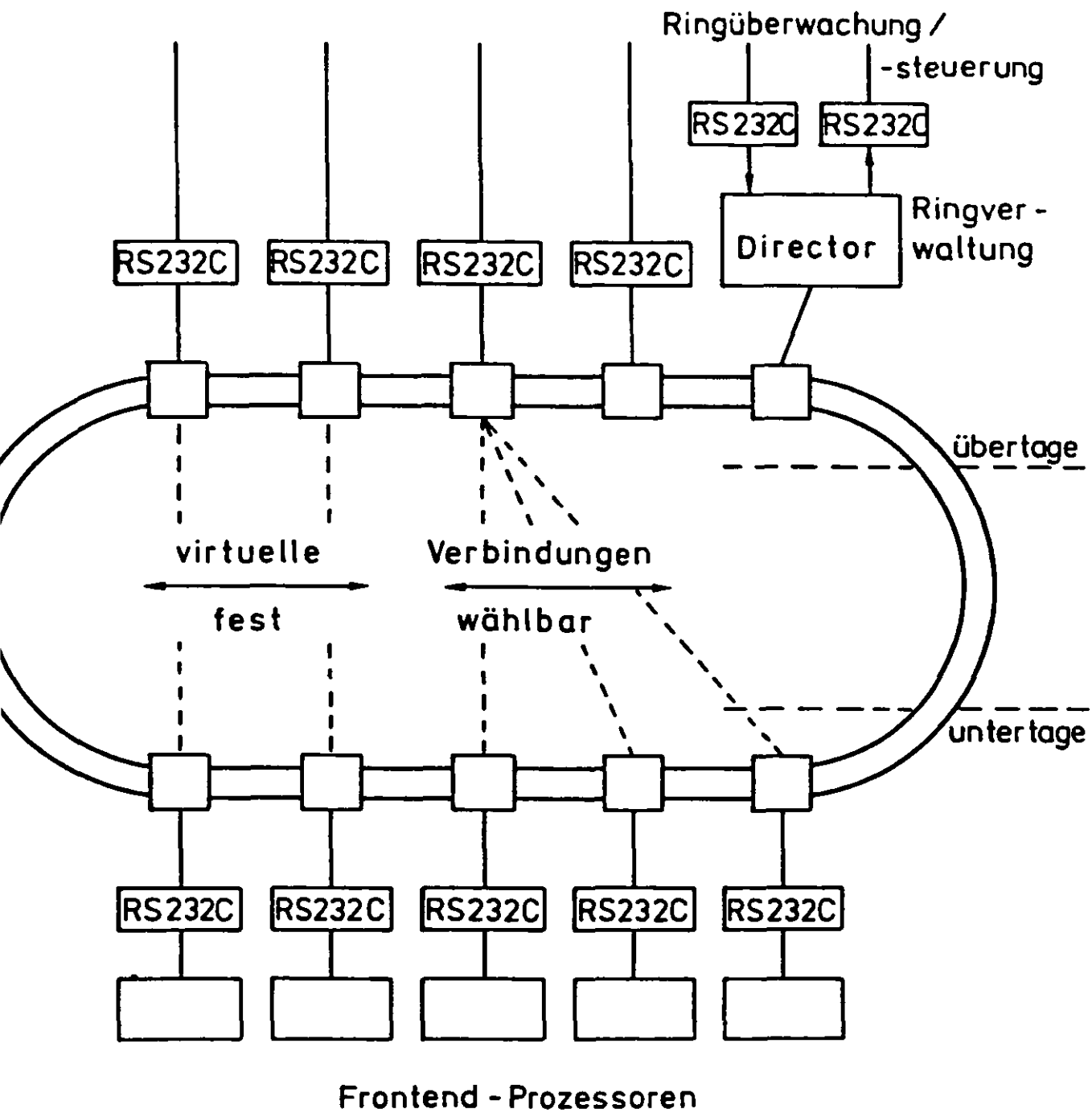


Abb. 2: Das lokale Netzwerk LAN zur Datenübertragung

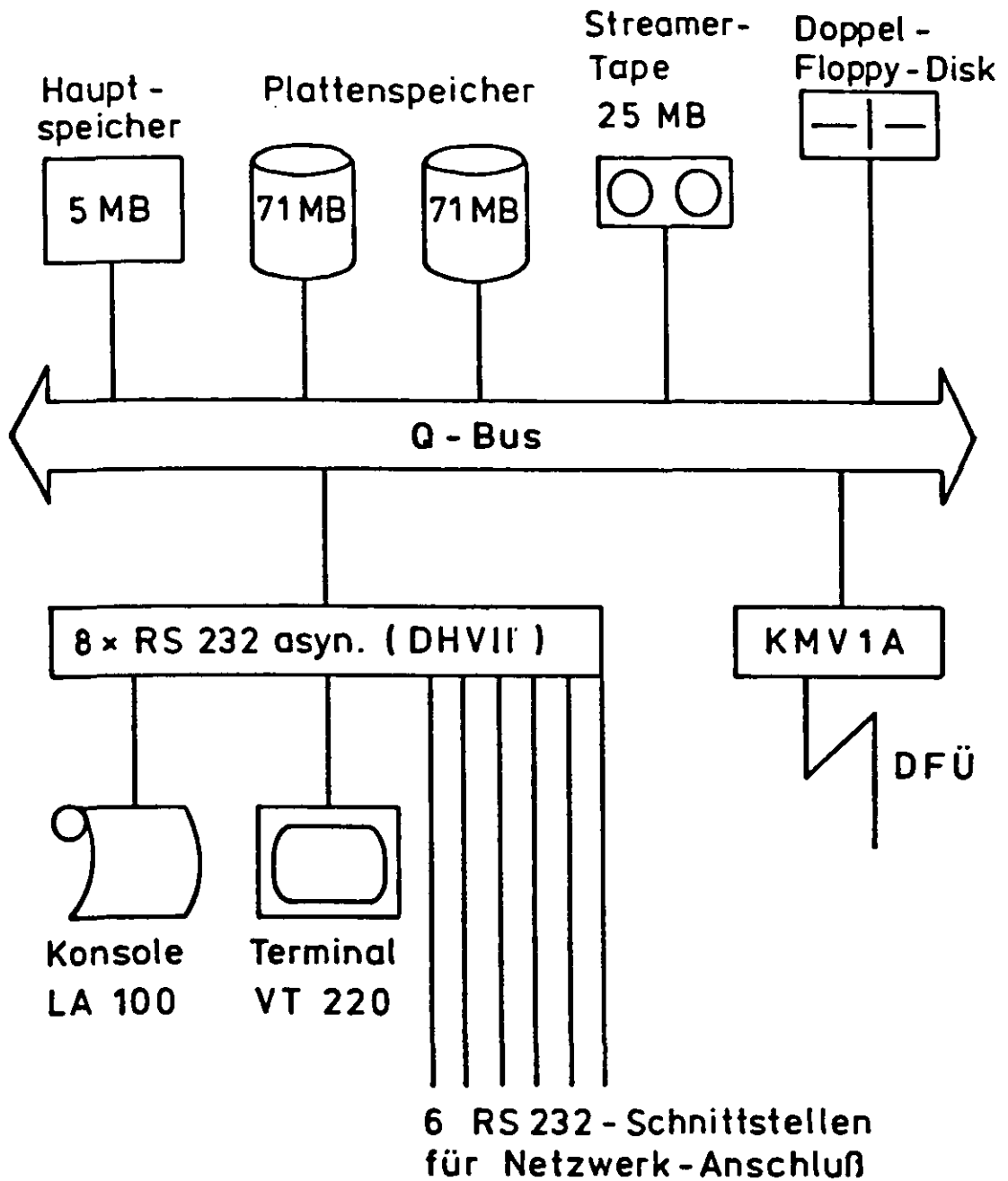


Abb. 3: Komponenten des übertägigen Zentralrechners

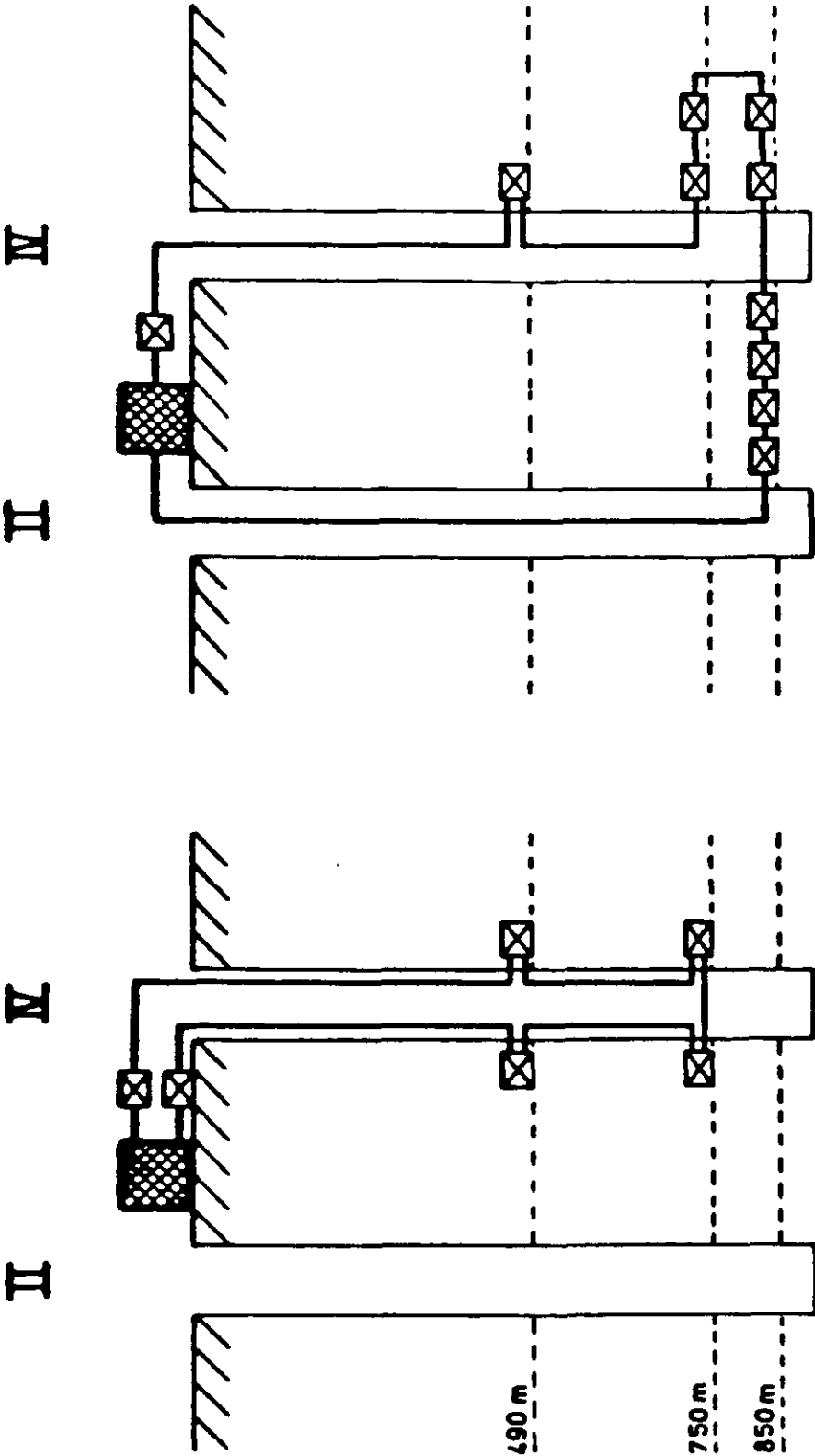


Abb. 4: Die Ausbaustufen des LAN

DFÜ

Erfassung

Auswertung

Anwenderprotokoll

allgemeine Protokolle

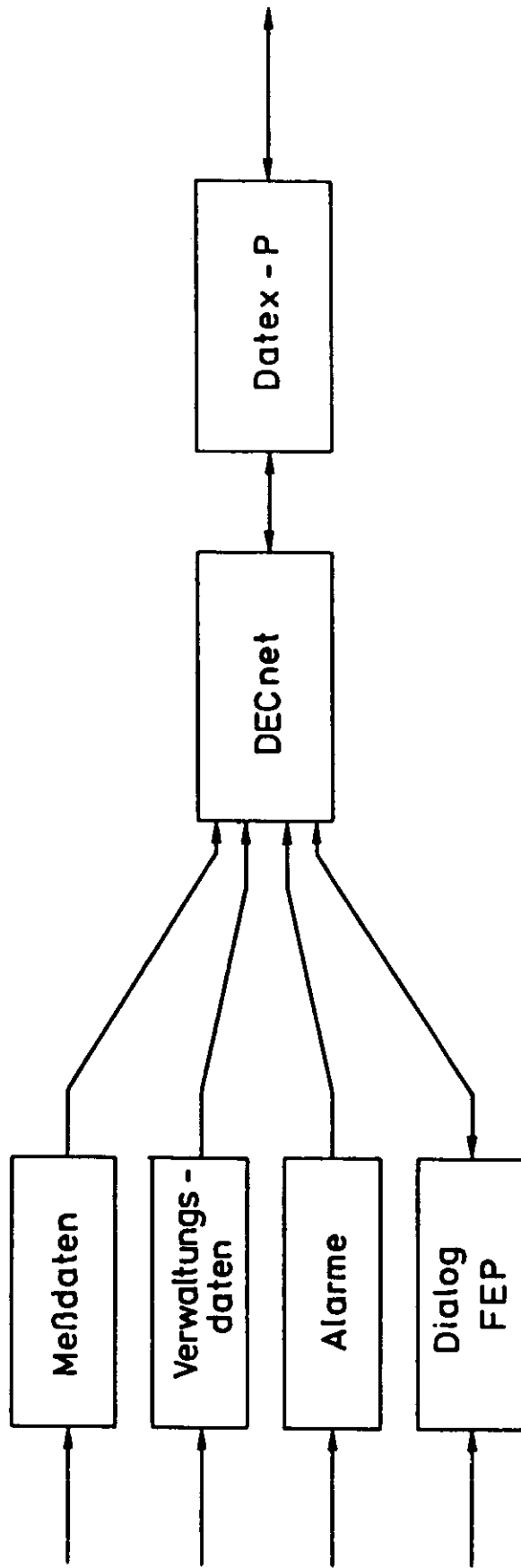


Abb. 5: Protokolle zur Datenübertragung

4.4 DATENAUSWERTUNG, ARCHIVIERUNG, PRÄSENTATION

Die Endauswertung geschieht im Bereich der GSF auf dem Institutsrechner mittels des Programmpakets VEMEDA (Verarbeitung von Meßdaten). Die Komponenten dieser Software stellt Abbildung 6 dar. Der Kern ist die Verwaltung der Meßdaten auf Magnetplatte. Darüber liegen Komponenten zur Datenübernahme aus den Versuchen, zur Archivierung auf Magnetbändern und zur Auswertung und Präsentation.

5 ZUVERLÄSSIGKEIT DER ERFASSUNG

Zur Vermeidung von Datenverlust bei der Erfassung und Übertragung sind folgende Redundanzmaßnahmen gegen Störung oder Ausfall von einzelnen Komponenten vorgesehen. Abbildung 7 gibt eine Übersicht über die Redundanz im Verlauf des Datenweges.

- a. Ein FEP wird in dem Teil redundant ausgeführt, der der Erfassung sicherheitsrelevanter Daten dient. Als Maßnahme gegen Ausfall des Zentralrechners soll er die Daten für einen gewissen Zeitraum (8 Tage) zwischenspeichern. Für den MAW/HTR-FEP sind die Redundanzmaßnahmen bei der Beschreibung des FEP (Teil I) dargestellt.
- b. Im Bereich des Zentralrechners ist Geräteredundanz für die Alarmverarbeitung vorgesehen.
- c. Im Bereich des Netzwerks ist eine Protokollredundanz im Übertragungsprotokoll (Token-Ring) realisiert. Ein Ausfall von Leitungen (Kabelschäden) wird wie oben erwähnt durch doppelte Kabelverlegung und automatische Netzkonfiguration teilweise behoben.

VEMEDA : Verarbeitung von Meßdaten

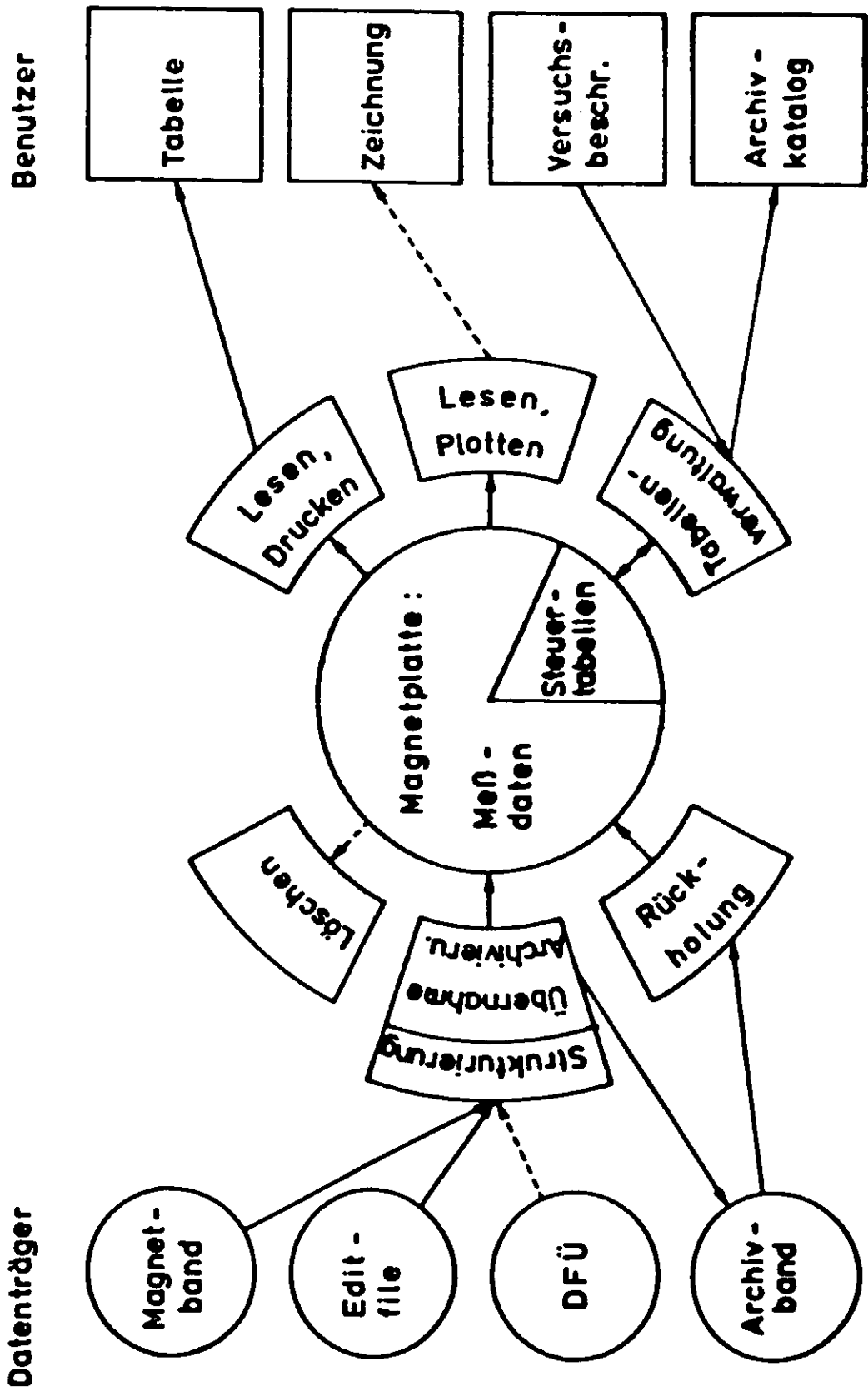


Abb. 6: Programme zur Datenauswertung am IfT

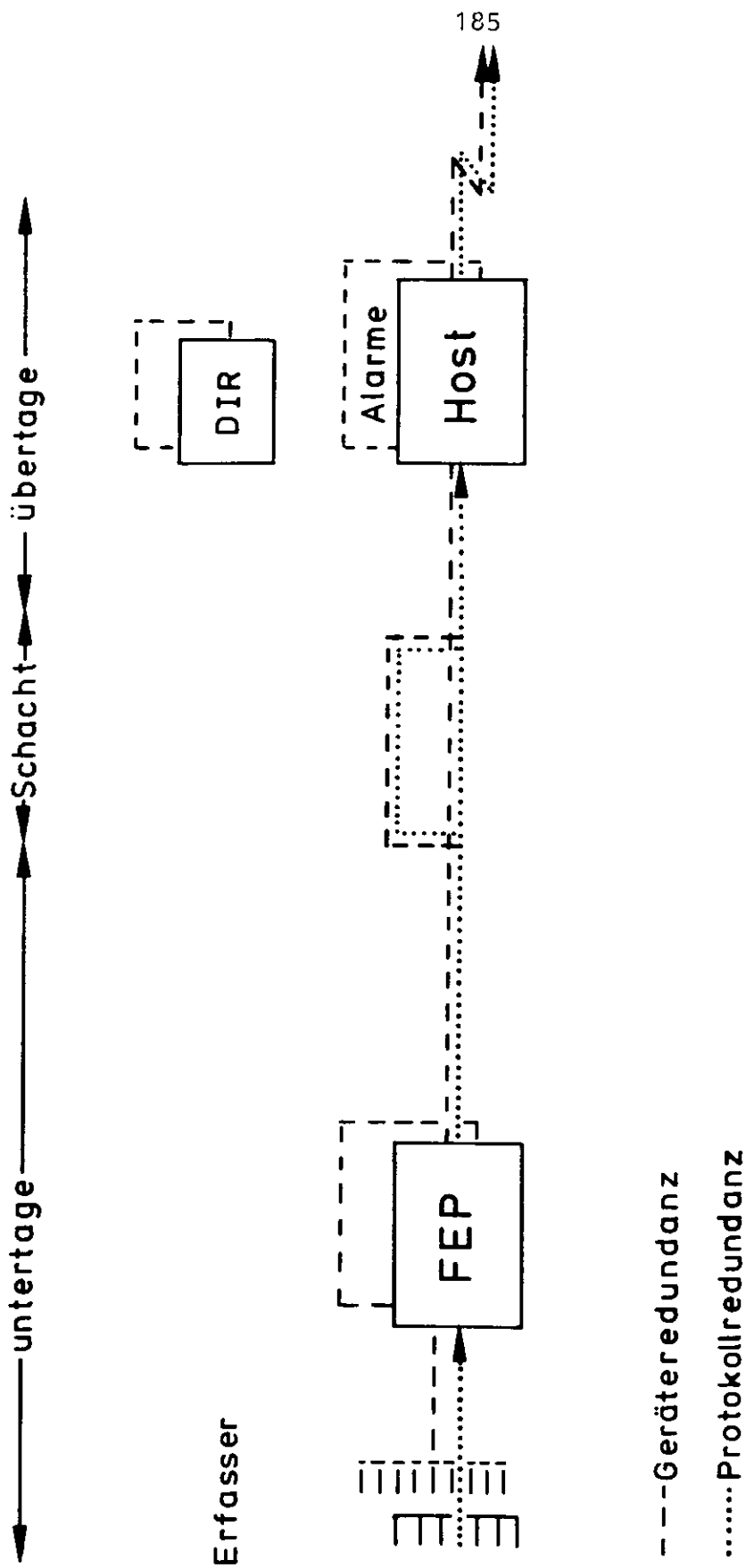


Abb. 7: Redundanz im Verlauf des Datenweges

6 ZEITPLAN, REALISIERUNGSSTAND

Eine Übersicht über den Zeitplan und den Realisierungsstand ist in nachfolgender Tabelle dargestellt.

KONZEPT	8/86
ZENTRALRECHNER	
- Bereitstellung Räume	10/86
- Installation Rechner	12/86
- Datex-P-Anschluß	12/86
- Klimaanlage, Notstromversorgung	2/87
- Software	8/87
LAN	
- Schachtkabel	1985
- Installation Netz	1/87
- Redundantes Schachtkabel (Lichtleiter)	6/87
FEPs	
- Konzept	12/86
- Installation (inkl. Programmierung)	ab 6/87
ALARMSTRATEGIE	87/88

Kernmaterialüberwachung
beim rückholbaren Einlagerversuch
mit verbrauchten AVR-Brennelementen

von

R. Buttler

Kernforschungsanlage Jülich GmbH,
Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz

1. EINLEITUNG

Im Zusammenhang mit den Arbeiten zum Nachweis der Entsorgung des Hochtemperaturreaktors (HTR) führt die KFA einen in-situ-Einlagerversuch mit abgebrannten Brennelementen aus dem Versuchskraftwerk AVR durch. Der Versuch findet im Rahmen eines Einlagerversuchs mit wärmeentwickelndem MAW aus der LWR-Wiederaufarbeitung im Salzbergwerk Asse der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung (GSF) statt.

Nach dem deutschen Entsorgungskonzept ist für verbrauchte HTR-Brennelemente die direkte Endlagerung vorgesehen. Die Ergebnisse des Einlagerversuchs werden benötigt, um der Forderung nach dem Einsatz erprobter Techniken bei der Einlagerung entsprechen und um das Entsorgungskonzept für den HTR und ein Brennelement-Zwischenlager konkretisieren zu können. Versuchsziele sind:

- Weiterentwicklung der Komponenten zur Handhabung der Abfallgebinde für die Einlagerung in Bohrlöchern im Salz,
- Erprobung der Handhabungstechnik unter realen Bedingungen mit echten Abfallgebinden,
- Untersuchung der Wechselwirkungen Abfallgebinde/Salzgestein.

Während der Einlagerzeit (geplant sind max. 5 Jahre) sind zwar versuchsbegleitende Messungen, z.B. Gas- und Wärmefreisetzung im geschlossenen Bohrloch, vorgesehen, die Gebinde jedoch nicht zugänglich. Um Gleichgewichtszustände zu erfassen und Langzeitaussagen zu ermöglichen, müssen sich die Messungen über einen mehrjährigen ununterbrochenen Zeitraum erstrecken. Damit wird die Verifizierbarkeit des zu überwachenden Materials auf die Phasen vor und nach der Einlagerung der Gebinde eingeschränkt. Darüber hinaus sind, wegen der hohen Dosisleistung und der auf Asse nicht vorhandenen Instrumentierung, Kontrollmessungen nur in der KFA sinnvoll durchführbar. Gleichwohl kann das Material nicht aus der internationalen Kernmaterialüberwachung (Safeguards) entlassen werden. Im folgenden werden daher

- die safeguardsrelevanten Versuchsbedingungen beschrieben,
- die versuchsspezifischen Überwachungsprinzipien diskutiert und
- zwei Überwachungsvorschläge (je einer von Euratom und von der deutschen Seite) vorgestellt.

2. VERSUCHSBESCHREIBUNG

2.1 Gebinde-Spezifikation

Das einzulagernde Material besteht aus abgebrannten AVR-Brennelementkugeln mit einem Anfangsgehalt von 1,08 g Uran zu 93 % angereichert ($\hat{=}$ 1,0 g U-235) und 5,0 g Thorium. Die Durchschnittswerte pro Brennelement (BE) nach der Entnahme aus dem Reaktor wurden bestimmt zu:

0,43 g	Resturangehalt
0,22 g	Restgehalt an Spalturan
52,4 %	Restanreicherung
14,5 % fima	Abbrand
4,8 g	Restgehalt an Thorium.

Verpackt sind die verbrauchten Brennelementkugeln zu je 950 Stück in 4 Trockenlagerkannen aus Edelstahl. In Abbildung 1 sind eine BE-Kugel und eine gefüllte Trockenlagerkanne dargestellt. Die Dosisleistung an der Oberfläche der Kannen liegt zu Beginn der Versuchseinlagerung bei etwa 40 Gy/h. In Tabelle 1 ist der Schwermetallgehalt der Gebinde zusammengestellt. Der Gesamtgehalt an überwachungspflichtigem Material beträgt 444 effektive Gramm (zur Erläuterung des eff. g siehe 4.3).

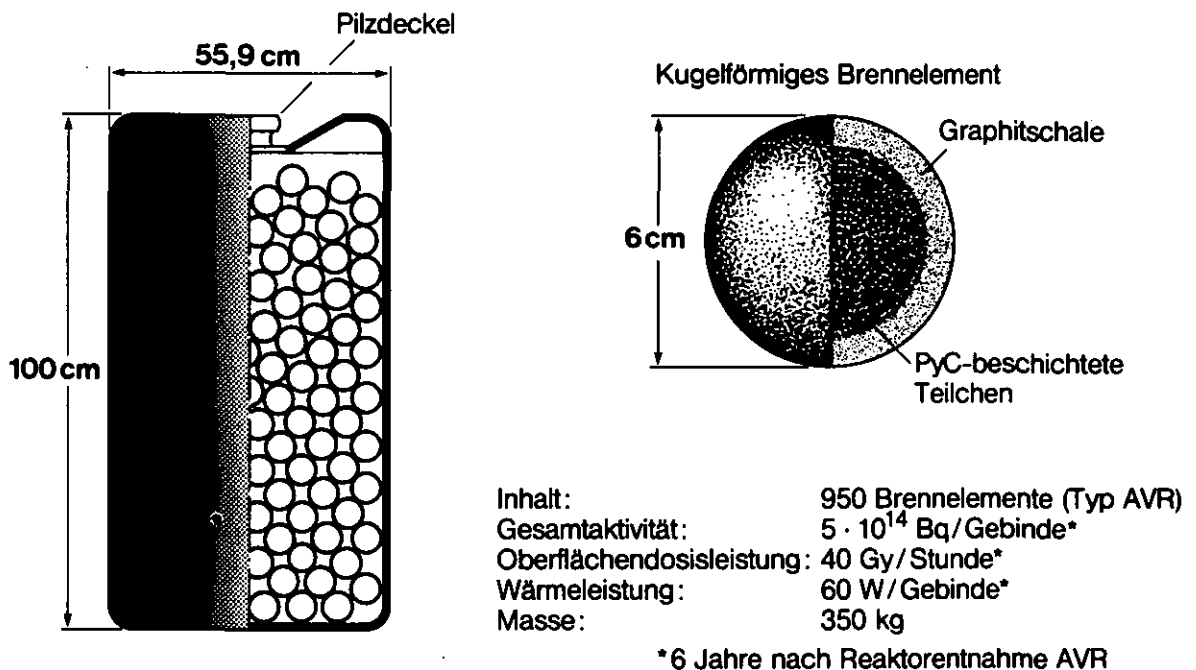


Abb. 1: Trockenlagerkanne mit verbrauchten AVR-BE

Die Gebinde sind aus dem Trockenlager der KFA für verbrauchte AVR-BE entnommen. Es ist vorgesehen, die Kugeln in den Trockenlagerkannen nach der Zwischenlagerung auch endzulagern. Der Kannenhals mit dem Pilzdeckel (Abb. 1) ist in dem abgesenkten oberen Teil der Kanne eingeschweißt und als Gegenstück zu den Greifwerkzeugen des Zellenkrans und weiterer Komponenten zur Handhabung der Gebinde ausgelegt. Die Einfüllöffnung ist gerade so groß, daß eine BE-Kugel hindurch paßt, und sie ist mit einer Dichtung versehen und mit einem

Kannen Nr.	U-ges (g)	U-233 (g)	U-235 (g)	Th (kg)	Abbrand (% fima)	(eff. g)
1	403,4	88,0	123,5	4,56	12,3	111,1
2	403,3	87,9	123,5	4,56	16,3	111,1
3	403,0	87,6	123,5	4,56	13,6	110,8
4	403,4	88,0	123,5	4,56	16,1	111,1

Tab. 1: Schwermetallgehalt der Versuchsgebände

Stopfen verschlossen. Der Stopfen wird von drei, durch Andruckfedern fixierte Stahlkugeln gehalten. Wegen der großen Oberflächen-Dosisleistung ist eine Handhabung der Trockenlagerkannen nur fernbedient oder in einer Heiße-Zellen-Anlage möglich. Aus den o.g. Gründen ist deshalb eine Versiegelung des Stopfens konstruktions- und handhabungsbedingt auszuschließen.

Auch Kontrollmessungen und Verifikationsmaßnahmen an den Kannen sind praktisch nur vor Beginn und nach Beendigung des Versuchs durchzuführen, und zwar unter Benutzung der in der KFA vorhandenen Instrumentierung. Derzeit verfügbar im Heiße-Zellen-Komplex am Trockenlager sind eine Waage, die routinemäßig bei Kernmaterial-Inspektionen von Euratom und IAEA benutzt wird, und ein Dosisleistungsmeßgerät. Die Voraussetzungen für die Aufnahme von γ -Spektren können geschaffen werden.

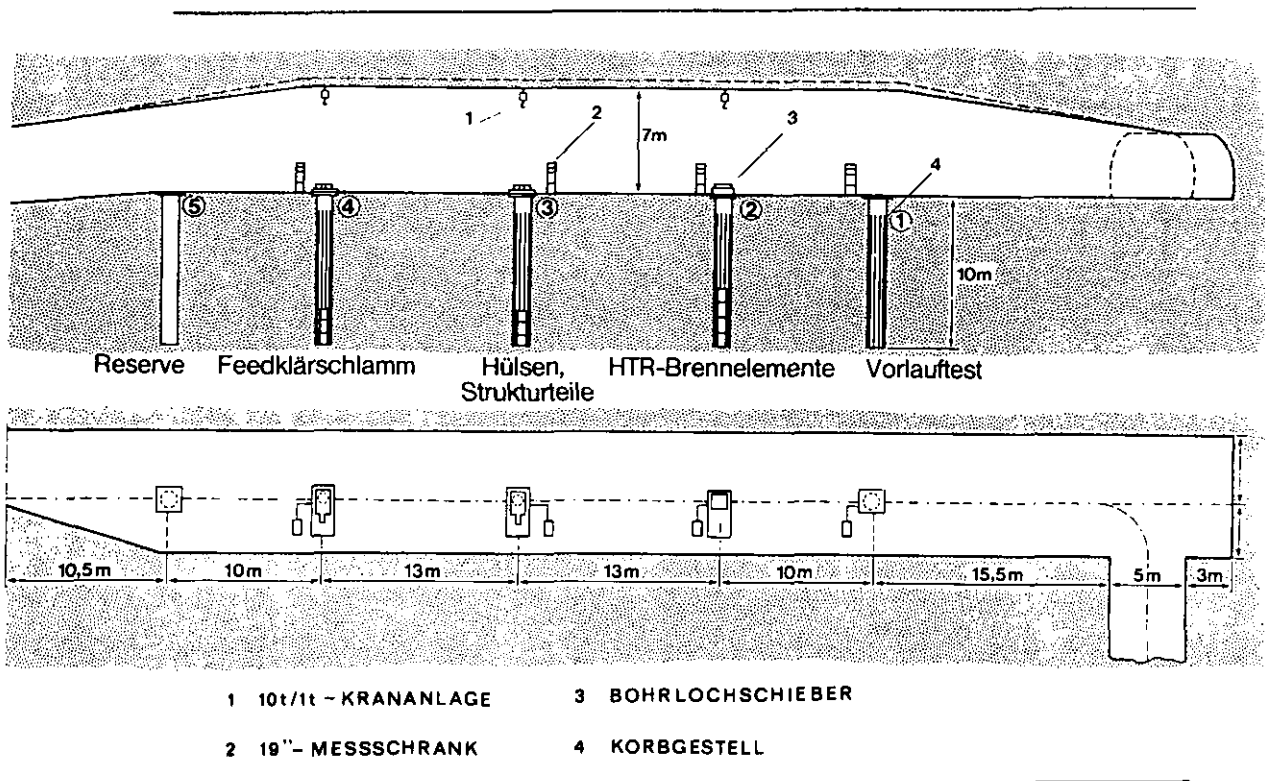


Abb. 2: Schematische Darstellung der MAW-Versuchsstrecke

2.2 Aufbau und Ablauf des Versuchs

In einer eigens für die MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung aufgefahrenen Strecke auf der 800 m-Sohle der Schachanlage Asse werden die 4 Trockenlagerkannen in einem von mehreren für das Vorhaben vorgesehenen Bohrlöchern unter Endlagerbedingungen gelagert (Abb. 2). Das Bohrloch ist 10 m tief und hat einen Durchmesser von 1 m. Oben ist es mit einem Schieber verschlossen. Zur Erhaltung einer ungestörten Bohrlochatmosfera darf der Schieber während der 5-jährigen Versuchsdauer nicht geöffnet werden. Er dient darüber hinaus als Abschirmung, und er ist bei Bedarf versiegelbar.

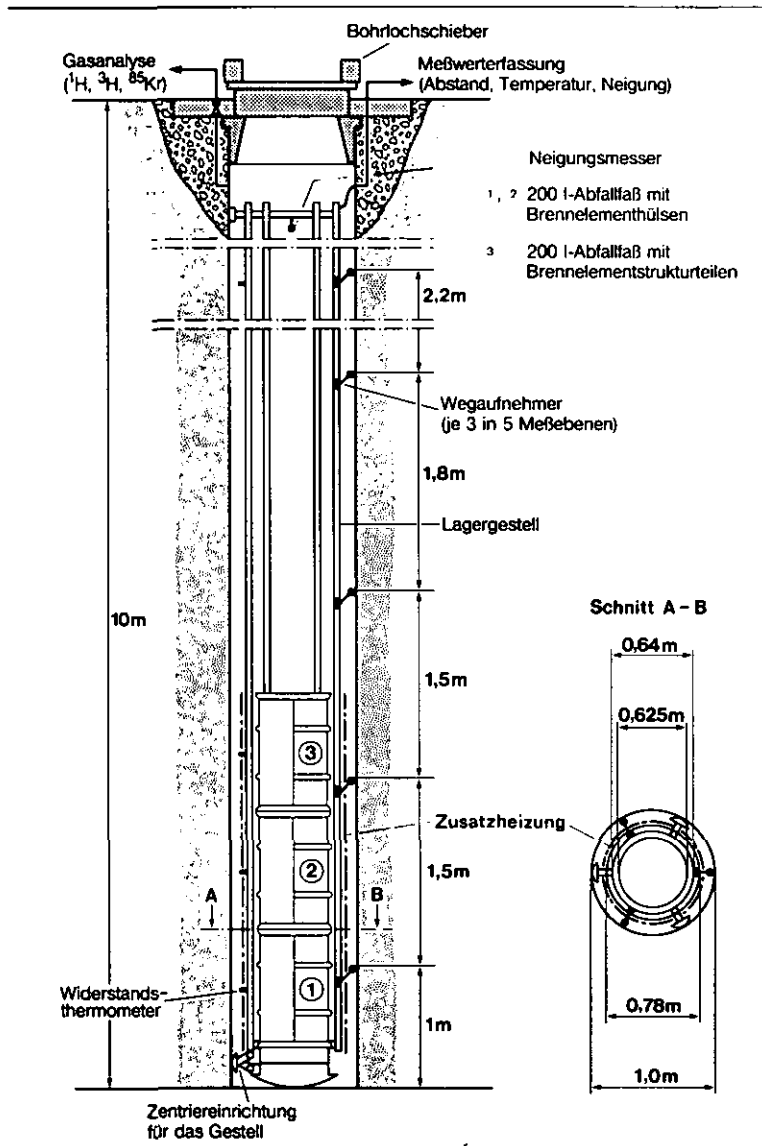


Abb. 3: Bohrloch 3 mit Ausrüstung

Ein Lagergestell nimmt die übereinander gestapelten Kannen auf und sorgt für eine stabile Zentrierung innerhalb des Bohrloches - hier in Abb. 3 dargestellt am Beispiel von 200-l-Fässern mit BE-Hülsen und -Strukturteilen. Für Meß- und Versorgungsleitungen sind Durchführungen im Gehäuse des Bohrlochschiebers vorgesehen, u.a. für eine Glasfaseroptik zur visuellen Kontrolle der Versuchsanordnung.

Eine Notrückholung der Gebinde ist genehmigungsbedingt nicht auszuschließen, sie würde aber den Versuch vorzeitig beenden, das Versuchsziel würde somit nicht erreicht werden. Eine optische Überwachung (Kamera) des Bohrlochschiebers und der Strecke erscheint wenig aussagefähig, da dieser Bereich zur Durchführung der Messungen häufig begangen wird.

Die safeguardsrelevanten Abläufe finden jeweils zu Beginn und am Ende des Versuches statt. Während der 5-jährigen Einlagerphase sind die Gebinde nicht zugänglich.

Die 4 Kannen werden nacheinander in einem Einzelabschirmbehälter zur Asse transportiert. Aus Sicherheitsgründen muß jede Kanne von der Entnahme aus dem Trockenlager bis zum Absenken ins Bohrloch im Abschirmbehälter verbleiben.

Im einzelnen sind nachfolgend beschriebene Schritte für die Handhabung der Kannen von Bedeutung:

- Entnahme einer Kanne aus dem Trockenlager
- Durchführung von noch festzulegenden Verifikationsmaßnahmen
- Beladen des Typ-B-Transportbehälters
- Transport von KFA zur Asse
- Transport nach unter Tage
- Aufsetzen des Transportbehälters auf den Bohrlochschieber
- Absenken der Kanne in das Bohrloch
- Schließen des Bohrlochschiebers
- Rücktransport des Behälters nach über Tage und zur KFA.

Nach dem Transport des leeren Behälters in die KFA, wird dieser mit der nächsten Kanne beladen. Der Ablauf des Rücktransportes nach Beendigung des Versuchs findet in umgekehrter Reihenfolge statt:

- Aufsetzen des Transportbehälters auf den Bohrlochschieber
- Öffnen des Schiebers
- Ziehen der Kanne in den Behälter
- Schließen des Bohrlochschiebers und des Transportbehälterschiebers
- Transport des Behälters nach über Tage
- Rücktransport zur KFA
- Entnahme der Kanne aus dem Behälter
- Wiederholung der vor dem Transport zur Asse vorgenommenen Verifikation
- Erneute Einlagerung der Kanne in das Trockenlager.

3. GRUNDLAGEN DER INTERNATIONALEN KERNMATERIALÜBERWACHUNG

3.1 NV-Vertrag und Euratom-Vertrag

Eine schematische Übersicht der Zusammenhänge dieses Abschnittes ist in Abbildung 4 dargestellt. Die Überwachung des Kernmaterials durch die internationalen Kontrollorganisationen basiert auf zwei völkerrechtlichen Verträgen:

- dem 1957 unterzeichneten Euratom-Vertrag /1/ als Bestandteil der Römischen Verträge zur Gründung der Europäischen Gemeinschaften und
- dem Nichtverbreitungsvertrag für Kernwaffen (NV-Vertrag), der 1969 von der Bundesrepublik Deutschland unterzeichnet wurde.

Das Kontrollorgan der Europäischen Atomgemeinschaft ist die Direktion Sicherheitsüberwachung -Euratom- in Luxemburg. Die Internationale Atomenergie Organisation -IAEO- mit Sitz in Wien überwacht als Unterorganisation der UNO die friedliche Nutzung der Kernenergie in allen Unterzeichner-Staaten des NV-Vertrages.

Zur Durchführung dieser Sicherungskontrollen haben die IAEO, die Bundesrepublik Deutschland und die Europäische Atomgemeinschaft das Verifikationsabkommen /2/ abgeschlossen. In diesem Abkommen und seinen Ergänzenden Abmachungen sind die Modalitäten für die Kontrolle durch die IAEO festgelegt. Die Überwachungsrichtlinien der Europäischen Atomgemeinschaft wurden in der Euratom-Verordnung Nr. 3227/76 /3/ unter Berücksichtigung beider Vertragswerke - Verifikationsabkommen und Euratom-Vertrag - neu gefaßt.

Die Anlagenspezifischen Anhänge sind Bestandteil der Ergänzenden Abmachungen; sie werden von Euratom und IAEO ausgehandelt. In dieses Verfahren sind der Betreiber durch eine Anhörung und die Bundesregierung durch ihr Zustimmungs- bzw. Einspruchsrecht einbezogen. Anders sieht das Prozedere bei den Besonderen Kontrollbestimmungen aus: sie werden von Euratom nach Anhörung des Betreibers erlassen.

3.2 Prinzip der Überwachung nach dem Verifikationsabkommen

Das Prinzip der Überwachung durch die IAEO ist in Tab. 2 zusammengefaßt. Überwachungsziel ist die rechtzeitige Entdeckung der Abzweigung einer signifikanten Menge Kernmaterials unter Beachtung des Grundsatzes der Nichtbehinderung der friedlichen Nutzung der Kernenergie. Die Kontrolle beschränkt sich auf das Kernmaterial; der Zugang des Inspektors auf strategische Punkte innerhalb der Anlage. Strategische Punkte sind z.B. Schlüsselmeßpunkte, an denen das Kernmaterialinventar zu erfassen ist (z.B. ein Tank in einer Prozeßanordnung oder ein Lager etc.), oder der Kernmaterialfluß gemessen wird.

Als grundlegende Überwachungsmaßnahme ist die Bilanzierung des Materials vorgesehen. Die Verifikation einer Materialbilanz setzt das Prüfen von Einzelposten des Inventars durch Identifikation und Messung, die Anwendung von ergänzenden Maßnahmen zur räumlichen Eingrenzung und Beobachtung (Containment/Surveillance), z.B. Siegel, Kamera, etc. und die Kontrolle der Bücher des Betreibers voraus.

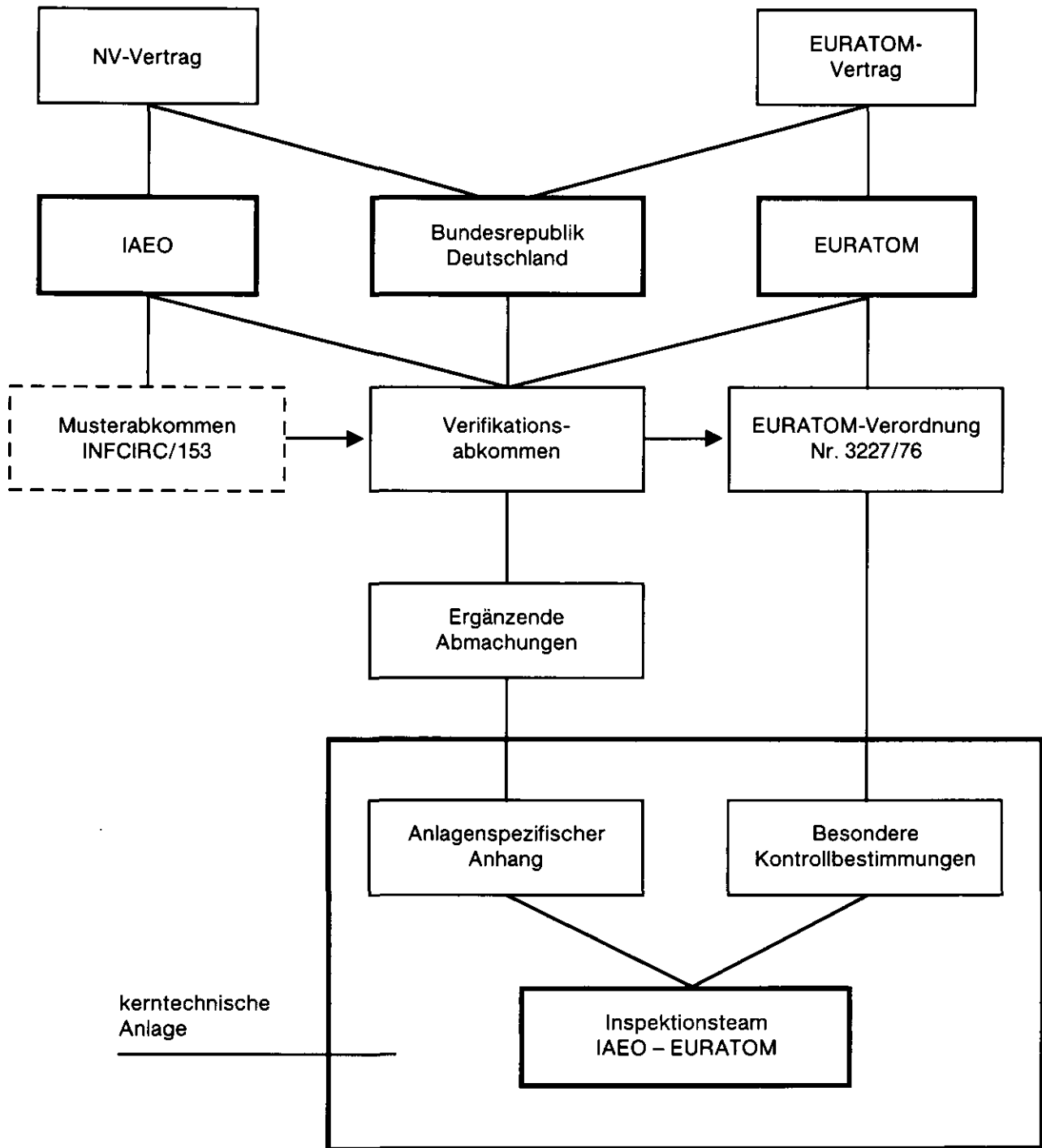


Abb. 4: Vertragliche Grundlagen der internationalen Kernmaterialüberwachung

Die Inspektionen werden im Normalfall von beiden Kontrollbehörden gemeinsam durchgeführt, wobei sich die IAEA-Inspektoren auf die Verifikation der Euratom-Ergebnisse beschränken. Darüber hinaus hat die IAEA auch das Recht auf eigene unabhängige Inspektionen.

-
- Rechtzeitige Entdeckung einer Abzweigung signifikanter Mengen
 - Nichtbehinderung der friedlichen Nutzung der Kernenergie
 - Prinzip der strategischen Punkte
 - Überwachung des Kernmaterials (nicht der Anlagen)
 - Bilanzierung
 - Verifikation: Identifikation, Messung, Prüfung der Buchhaltung
 - ergänzende Maßnahmen: räumliche Eingrenzung und Beobachtung (C/S)
 - Verifikation der Euratom-Ergebnisse
 - gemeinsame Inspektionen
 - Recht auf eigene Inspektionen
-

Tab. 2: Prinzip der IAEA-Überwachung nach dem Verifikationsabkommen

3.3 Überwachung durch Euratom

Der Euratomvertrag ist in seiner Zielsetzung hinsichtlich der friedlichen Nutzung der Kernenergie und hinsichtlich der Überwachung der Mitgliedsstaaten umfassender als der später abgeschlossene NV-Vertrag. Vertragsziel und Überwachungsverpflichtung sind in Tab. 3 schwerpunktmäßig aufgelistet. Für die Durchführung der Überwachung legt der Vertrag Rahmenbedingungen fest, von denen zwei von besonderer Bedeutung sind:

- "Das Eigentumsrecht der Gemeinschaft umfaßt alle besonderen spaltbaren Stoffe, die von einem Mitgliedsstaat, einer Person oder einem Unternehmen erzeugt oder eingeführt werden und der Sicherheitsüberwachung unterliegen." (Art. 86)
- Auch Kleinstmengen unterliegen der Überwachung (keine Freigrenzen), und es gibt im Gegensatz zum Verifikationsabkommen keine Kriterien für eine Beendigung, Befreiung oder Vereinfachung der Überwachung.

Die Kontrollverpflichtung besteht nach Art. 77 des Vertrages darin,

- die Verwendung des Materials "nicht zu anderen als den von den Benutzern angegebenen Zwecken" und
- die Beachtung der besonderen Kontrollverpflichtungen, "welche die Gemeinschaft in einem Abkommen mit einem dritten Staat oder einer zwischenstaatlichen Einrichtung übernommen hat", sicherzustellen.

Zur Erfüllung dieser Kontrollfunktion "haben die Inspektoren jederzeit zu allen Orten, Unterlagen und Personen Zugang, die sich von Berufs wegen mit Stoffen, Ausrüstungsgegenständen oder Anlagen beschäftigen, welche der Überwachung unterliegen". (Art. 81)

Zweck:

Friedliche Nutzung der Kernenergie

- Förderung der Forschung
- Sicherung der Versorgung
- Nichtverbreitung von Kernwaffen

Rahmenbedingungen für die Überwachung

- Kernmaterial ist Eigentum der EG
- keine Freigrenzen
- keine Terminierungskriterien

Kontrollverpflichtung für Euratom

- Verwendung des Materials zu den vorgesehenen Zwecken
- Beachtung der besonderen Kontrollverpflichtungen aus Abkommen mit Drittländern

Zugangsrecht für Inspektoren

- Anlagen
 - Unterlagen
 - Personen
-

Tab. 3: Der Euratom-Vertrag

4. OBERWACHUNGSKRITERIEN

Von der IAEA und den betroffenen Staaten wurden Überwachungszielgrößen und Verfahrensweisen entwickelt. Diese haben sich in der Praxis bewährt, und sie werden auch von Euratom angewendet. Darüber hinaus leitet Euratom für sich selbst weitergehende Kontrollrechte aus den Römischen Verträgen ab. Im folgenden werden die Kriterien, die für die Überwachung des Versuchsmaterials von Belang sein können, diskutiert.

4.1 Entdeckungsziele

Die IAEA richtet ihre Überwachungstätigkeit und die Bewertung der Inspektionsergebnisse an 4 Zielgrößen aus:

- signifikante Menge
- Entdeckungszeit
- Entdeckungswahrscheinlichkeit
- Fehlalarmwahrscheinlichkeit.

In Tab. 4 sind die signifikanten Mengen der wichtigsten Überwachungspflichtigen Stoffe aufgeführt. Die Zielgrößen für die Überwachung des Einlagerversuchs sind 8 kg U-233 bzw. 25 kg U-235. Gemessen an diesen Werten enthalten die 4 für den Versuch vorgesehenen Trockenlagerkannen zusammen an U-233 3,9 % und an U-235 2 % der Überwachungszielgrößen.

8 kg Pu	als Element
8 kg U-233	als Isotop
25 kg U-235	in U \geq 20 % angereichert
75 kg U-235	in U < 20 % angereichert
20 t Th	als Element

Tab. 4: Signifikante Mengen

Die Entdeckungszeit hängt maßgeblich von der Konversionszeit ab, die benötigt wird, um waffenfähiges Spaltmaterial herzustellen. Sie beträgt für Plutonium und hochangereichertes Uran (≥ 20 %) in bestrahltem Kernmaterial 1-3 Monate. Der üblicherweise angestrebte Wert der Wahrscheinlichkeit für die Entdeckung einer Abzweigung ist 95 %. Im vorliegenden Fall ist jedoch die Fehlalarmwahrscheinlichkeit von größerer Bedeutung. Schon ein Fehlalarm während der gesamten Einlagerungszeit von 5 Jahren würde u.U. zu der Forderung, das Material erneut zu verifizieren und damit zu einer Rückholung des Materials führen, d.h. aber Abbrechen des Versuchs. Bei Störung des Gasgleichgewichts in der Bohrlochatmosfera sind keine Langzeitaussagen möglich, das Experiment müßte neu begonnen werden.

4.2 Möglichkeit der Beendigung der Überwachung

Das Verifikationsabkommen enthält Kriterien für eine Beendigung, Befreiung oder Vereinfachung von Überwachungsmaßnahmen.

Nach Art. 11 ist die Terminierung von Safeguards für solches Material vorgesehen, das entweder verbraucht oder praktisch nicht rückgewinnbar oder so verdünnt ist, daß es für eine weitere nukleare Verwendung ungeeignet ist. Für abgebrannte Brennelemente trifft diese Regelung nach allgemein anerkannter Einschätzung nicht zu. Auch sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß international die Diskussion über die Bedeutung von Safeguards an abgebrannten LWR-Brennelementen stark zugenommen hat. Eine Tendenz auf seiten der internationalen Überwachungsbehörden zu mehr quantitativen Verifikationsmaßnahmen ist sichtbar.

Die Möglichkeit einer Befreiung von Safeguards sieht Art. 37 vor: Die dort genannte Menge von insgesamt 1 kg besonderen spaltbaren Materials gilt jedoch für die gesamte Europäische Gemeinschaft. Bezüglich der Zustimmung aller involvierten Staaten waren die Auffassungen der beteiligten Stellen unterschiedlich.

Für Kernmaterial in Rückständen ist nach Art. 35 eine vereinfachte Überwachung aushandelbar, wenn dessen Rückgewinnung vorläufig nicht möglich oder nicht erwünscht ist. Dieses Verfahren bedarf der gegenseitigen Konsultationen von Euratom und IAEA. Da nach dem deutschen Nuklearprogramm für abgebrannte HTR-Brennelemente die direkte Endlagerung vorgesehen ist, kann hier ein Ansatz für eine Überwachungsvereinbarung gesehen werden.

4.3 Inspektionsaufwand

Der Überwachungsaufwand wird bestimmt durch die Art und Größe der kerntechnischen Anlage und durch die Art und Menge des in ihr zu handhabenden Kernmaterials. Er reicht je nach Anlage und zu überwachendem Material von einem Inspektor-Manntag pro Jahr und Organisation bis zur permanenten Anwesenheit ganzer Inspektionsteams. Allgemein liegt der tatsächliche Überwachungsaufwand jedoch unter den theoretischen Ansätzen. Eine wichtige Größe zur Festlegung des Inspektionsaufwandes ist das effektive Kilogramm; es wird für angereichertes Uran durch Multiplikation des Urangesamtgewichts mit dem Quadrat der Anreicherung errechnet.

Nach den Kriterien der IAEA ist die Versuchsanordnung - 4 Trockenlagerkannen mit zusammen 444 eff. g und das Bohrloch - als sogenannte LOF einzustufen. LOF heißt "location outside facilities". Es ist die Bezeichnung für Einrichtungen, in denen Kernmaterial bis zu 1 eff. kg gehandhabt wird. Das bedeutet, daß der Einlagerversuch in die unterste Stufe der Überwachungsaktivitäten mit maximal einer Routineinspektion pro Jahr einzuordnen ist.

5. INTERNATIONALE ASPEKTE

Durch die Mitgliedschaft im Euratom- und im NV-Vertrag wurden die internationalen Rahmenbedingungen für die Entwicklung der kerntechnischen Industrie in der Bundesrepublik Deutschland geschaffen. Diesem insbesondere in der Aufbauphase günstigen Aspekt steht langfristig die Verpflichtung des überwachten Staates zur Offenlegung seines Nuklearprogramms und zur Aufgabe gewisser Hoheitsrechte gegenüber /4/, z.B. durch die Duldung von Inspektionen in den kerntechnischen Anlagen.

Betrachtet man die Staaten mit geschlossenem Brennstoffkreislauf (Tab. 5) und rechnet die Bundesrepublik zu diesem Kreis - eine Wiederaufarbeitungsanlage befindet sich im Bau und eine Versuchsanlage zur Wiederaufarbeitung ist im Betrieb - so wird die besondere Situation, in der sich Japan und die Bundesrepublik befinden, sichtbar:

- Die USA und die UdSSR sind Waffenstaaten; einige ausgewählte zivile Anlagen stehen unter IAEA-Kontrolle.
- Frankreich nimmt als Waffenstaat und Nichtmitglied im NV-Vertrag eine Sonderstellung ein; seine zivilen Anlagen stehen unter Euratomkontrolle.
- Großbritannien wird als einziger Waffenstaat im zivilen Bereich von IAEA und Euratom überwacht.
- Japan ist, wie auch die Bundesrepublik, Nichtwaffenstaat; seine kerntechnischen Anlagen stehen unter der Kontrolle der IAEA.
- Die Bundesrepublik ist der einzige Nichtwaffenstaat mit geschlossenem Brennstoffkreislauf, dessen kerntechnische Anlagen unter der Kontrolle von IAEA und Euratom stehen.

Eine weitere Besonderheit gegenüber Japan und den anderen Staaten besteht darin, daß die Bundesrepublik über keine nationale Kontroll- und Meldestelle verfügt. Die Bundesregierung hat die Aufgaben einer nationalen Kontrollstelle auf Euratom übertragen, d.h. Euratom vertritt nach außen gegenüber der IAEA die Interessen des überwachten Staates, wird aber gleichzeitig nach innen als multinationale Kontrollbehörde tätig.

Staat	Kern- waffen	nationale Kontroll- und Meldestelle	internationale Kontrollbehörde
USA	X	X	IAEO
UdSSR	X	X	IAEO
Japan	-	X	IAEO
Frankreich	X	X	Euratom im zivilen Bereich
Britannien	X	X	IAEO/Euratom im zivilen Bereich
Bundesrepublik Deutschland	-	-	IAEO/Euratom

Tab. 5: Kernmaterialüberwachung in Staaten mit geschlossenem Brennstoffkreislauf

6. OBERWACHUNGSKONZEPTE

6.1 Vorschlag der deutschen Seite

Geht man davon aus, daß das deutsche Nuklearprogramm die Wiederaufarbeitung von verbrauchten HTR-Brennelementen nicht vorsieht und z.Z. kein technisch ausgereiftes Verfahren zur Wiederaufarbeitung dieser BE-Kugeln zur Verfügung steht und auch nicht entwickelt wird, das Kernmaterial also nach derzeitigem Stand der Technologie wirtschaftlich nicht rückgewinnbar ist, kann die Erfüllung der Voraussetzungen für die Anwendung vereinfachter Sicherungsmaßnahmen nach Art. 35 Verifikationsabkommen als gegeben angenommen werden. Dies sollte insbesondere unter der Berücksichtigung, daß der Anteil an überwachungs-pflichtigem Material im Vergleich zu den Überwachungszielgrößen sehr klein ist, Anerkennung finden.

Ein weiterer wesentlicher Gesichtspunkt ist die Tatsache, daß die Gebinde während der Einlagerphase nicht zugänglich sind. Hier besteht die berechtig- te Sorge, daß bei der Anwendung jeglicher Überwachungsmaßnahmen, insbeson- dere bei technischen Verfahren, eine Abzweigung nicht in allen Fällen mit letzter Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Nach der gültigen Überwachungs- philosophie wird eine Reverifikation notwendig, wenn ein Fehlalarm nicht hin- reichend als solcher erkennbar ist.

Auch im Hinblick auf ein künftiges Endlager soll hier kein Präjudiz geschaf- fen werden, da die Überwachung eines direkten Endlagers noch einige ungelö- ste Fragen aufwirft /5/.

Ausgehend von diesen Voraussetzungen wurde in Abstimmung mit dem BMFT und der GSF ein Überwachungskonzept entwickelt und Euratom und der IAEO vorge- schlagen, welches die Anwendung vereinfachter Sicherungsmaßnahmen vorsieht:

- Das Material bleibt formal im Bestand der betreffenden Materialbilanzzone der KFA.

- Vornahme der Verifikation der Gebinde vor dem Transport zur Asse.
An Messungen sind vorgesehen:
 - Gesamtgewicht jeder Kanne,
 - Dosisleistung und
 - γ -Spektrum (falls dies gewünscht wird).
- Durch die sogenannte TW-Buchung wird das Material als "zurückgehaltener Abfall" (retained waste) eingestuft.
- Transport der Kannen zur Asse und Durchführung des Versuchs.
- Rückholung der Kannen in die KFA.
- Verifikation wie vor dem Transport zur Asse.
- Rückbuchung des Materials aus der Kategorie zurückbehaltener Abfall in die Kategorie Kernmaterial (FW-Buchung).

6.2 Euratom-Vorschlag

Nach dem Euratom-Konzept sind vereinfachte Sicherungsmaßnahmen nicht vorgesehen. Es enthält folgende Überwachungsmaßnahmen:

- Asse legt die grundlegenden technischen Anlagenmerkmale vor, als Basis für die besonderen Kontrollbestimmungen.
- Euratom inspiziert etwa 1 mal jährlich
 - das Anlagen-Design
 - den Bohrlochverschluß und
 - die Aufzeichnungen des Betreibers.
- Ferner sind dieselben Messungen vorzunehmen, wie sie schon im deutschen Konzept vorgeschlagen wurden, nämlich:
 - Gewicht der Kannen,
 - Dosisleistung und
 - γ -Spektrum,
 und zwar jeweils vor dem Transport zur Asse und nach dem Rücktransport in die KFA.
- Weitere Maßnahmen sind:
 - Absenken der Kannen in das Bohrloch in Anwesenheit eines Inspektors,
 - Siegel an
 - dem Transportbehälter,
 - dem Bohrlochschieber und, wenn möglich,
 - den Meßleitungen und
 - den Kannen.

Darüber hinaus wird vorgeschlagen, zu prüfen, ob IAEA-Kontrollen Anwendung finden werden.

6.3 Anmerkungen

Das deutsche Konzept setzt die Priorität beim Experiment. Aus diesem Grunde sollen auch keine F+E-Arbeiten in diesem Zusammenhang durchgeführt werden. Selbst bei der Anwendung erprobter Verfahren muß damit gerechnet werden, daß diese unter den Randbedingungen im Bergwerk zum vorzeitigen Abbruch des Experiments führen. Der BMFT ist grundsätzlich zu F+E bereit, jedoch sollten diese Arbeiten in einem anderen Rahmen, losgelöst von diesem Versuch,

durchgeführt werden. Das Euratom-Konzept hingegen sieht Maßnahmen vor, von denen einige Fehlalarme oder -interpretationen nicht mit Sicherheit ausschließen, und es sieht auch F+E-Arbeiten vor.

Das Versiegeln der Meßleitungen ist m.E. nicht safeguardsrelevant und in den F+E-Bereich einzuordnen. Insofern sind durch diese unerprobte Maßnahme Störungen im Versuchsablauf und Fehlinterpretationen in Bezug auf das zu überwachende Material nicht auszuschließen. Eine Versiegelung der Kannen ist konstruktionsbedingt anzuschließen.

Aus der Tatsache, daß Euratom vorschlägt, zu prüfen, ob IAEA-Kontrollen Anwendung finden werden, kann der Schluß gezogen werden, daß Euratom das gesamte Paket von Maßnahmen auch dann zur Anwendung bringen will, wenn die Wiener Behörde eine vereinfachte oder gar keine Überwachung durchführt.

7. LITERATUR

- /1/ Europäische Gemeinschaften: Verträge zur Gründung der Europäischen Gemeinschaften, Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, Katalognummer: FX-23-77-962-DE-C, 1978.
- /2/ Deutscher Bundestag: Verifikationsabkommen, Drucksache 7/995, 7. Wahlperiode, 1973.
- /3/ Kommission der Europäischen Gemeinschaften. Verordnung Nr. 3227/76 zur Anwendung der Bestimmungen der Euratom-Sicherungsmaßnahmen, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 19. Jahrgang Nr. L 363, 31. Dezember 1976.
- /4/ Schlupp, Ch.: Die internationale Bewertung des nuklearen Brennstoffkreislaufs - International Nuclear Fuel Cycle Evaluation (INFCE), Jül-2080, Kernforschungsanlage Jülich, Juli 1986
- /5/ Buttler, R.; Lauppe, W.D.; Pohlen, E.; Richter B.; Stein, G.: Internationale Kernmaterialüberwachung bei einem Endlager der Anderen Entsorgungstechniken, Jül-Spez-269, Kernforschungsanlage Jülich, Dezember 1984.

GEBIRGSMECHANISCHE MESSUNGEN IN DER AVR-STRECKE DES SALZBERGWERKS ASSE

F. Kreutz

Kernforschungsanlage Jülich GmbH

1. Aufgabenstellung

Eine Versuchseinlagerung von radioaktiven Abfallgebinden in die Bohrlöcher der AVR-Strecke kommt zwar nicht mehr in Betracht, aber für das MAW-Versuchsprogramm wurden bereits versuchsbegleitende Meßaufgaben definiert, zu denen auch Meßgeräte entwickelt werden mußten. Meßgrößen, die in diesem sogenannten Vorprogramm erfaßt werden sollen sind:

- Geometrie der Lagerbohrungen
Verlauf, Ovalität
- Konvergenz der Lagerbohrungen
ohne und mit Wärmeeintrag
- Gebirgsspannungen
- Temperatúrausbreitung bei Wärmeeintrag in ein Bohrloch
- Feuchtigkeitsmessung
Laugenzufluß

Die entwickelten Meßgeräte sind im Hinblick auf ihre Verwendung für die MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung zu erproben und zu optimieren.

Auf die Feuchtigkeitsmessung wird hier nicht eingegangen, da bereits ein Interner Bericht (Untersuchung der vorhandenen Lagerbohrungen der AVR-Einlagerstrecke in der Schachtanlage Asse, KFA-ICT-IB-454/80) vorliegt.

2. Messgeräte zur Erfassung Gebirgsmechanischer Grössen

Über den ursprünglich gebohrten Zustand der Bohrlöcher direkt nach ihrer Erstellung liegen keine Aufzeichnungen vor. Mit einer Vermessung der Bohrungen soll der Ist-Zustand dokumentiert werden.

Um den Verlauf der Bohrlöcher zu ermitteln, muß die Neigung und die Richtung der Neigung bestimmt werden. Diese Messungen werden mit einem entwickelten Pendel-Kompasssteil durchgeführt.

Die Positionierung des Meßgerätes im Bohrloch übernimmt ein Doppeldreibeingestell, das eine Anpassung an verschiedene Bohrl Lochdurchmesser erlaubt und sich über ausfahrbare Rollenstempel im Bohrloch zentriert und verspannt.

Die Abb. 1 zeigt im Dreibeingestell den daran starr verbundenen Stab mit seinem Gewicht und die Dehnungsmeßstreifen zur Messung der Durchbiegung und damit der Neigung.

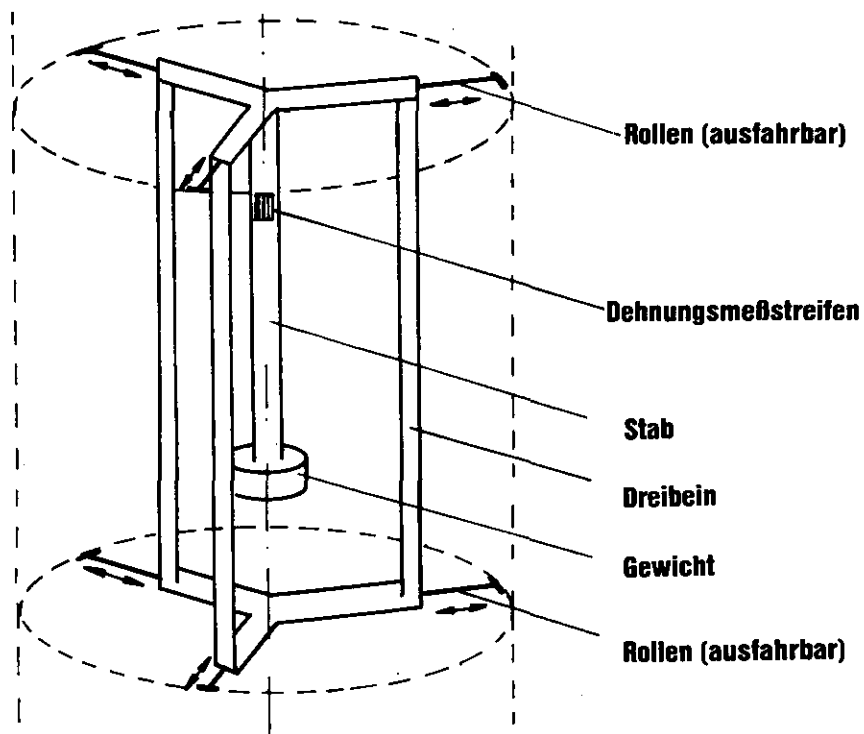


Abb. 1: Neigungsmeßgerät im Doppeldreibeingestell

Das Azimut der Neigung wird von einem elektronischen Kompass bestimmt.

Zwei übereinander angeordnete, sich verjüngende Stäbe aus Weich-eisen verstärken das Erdmagnetfeld und lenken es auf die Hall-sonde. Proportional zum Magnetfeld wird eine elektrische Spannung erzeugt. Aus dem Verhältnis der erzeugten Spannungen wird das Azimut bestimmt.

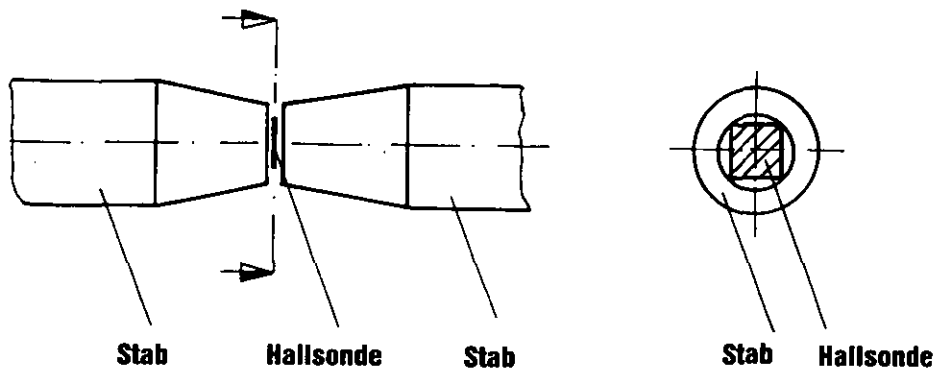


Abb. 2: Elektronischer Kompass

Neigungsmeßgerät und elektronischer Kompass werden im Doppel-dreibeingestell in das zu vermessende Bohrloch abgeteuft. Die Meßsignale werden zu einem Meßverstärker auf der Sohle geführt, so daß eine Fernablesung und -registrierung möglich ist. Die komplette Meßeinheit ist in Abb. 3 dargestellt.

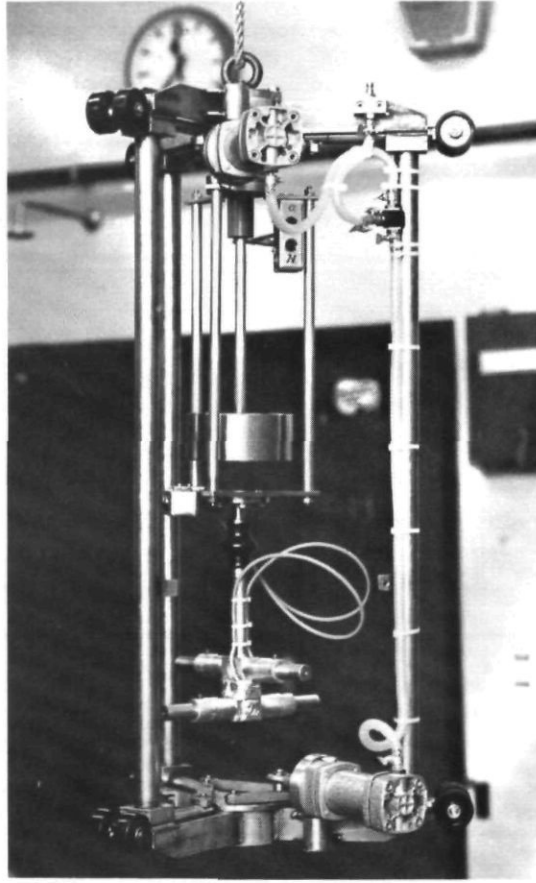


Abb. 3: Neigungsmeßgerät und elektronischer Kompass im Doppeldreibeingestell

Zum Vermessen des Bohrlochquerschnittes wurde ein Meßgerät entwickelt, das sich ebenso mit einer Doppeldreibein-Konstruktion im Bohrloch zentriert und verspannt.

Das patentierte Kalibermessgerät besitzt einen Meßarm, der an die Bohrlochwand herangefahren und dann um die Achse des Dreibeingestells gedreht wird. Die radiale Wegänderung des auf der Bohrlochwand abrollenden Meßrades wird auf einen induktiven Wegaufnehmer übertragen, dessen Signal direkt proportional zum Meßarmweg ist.

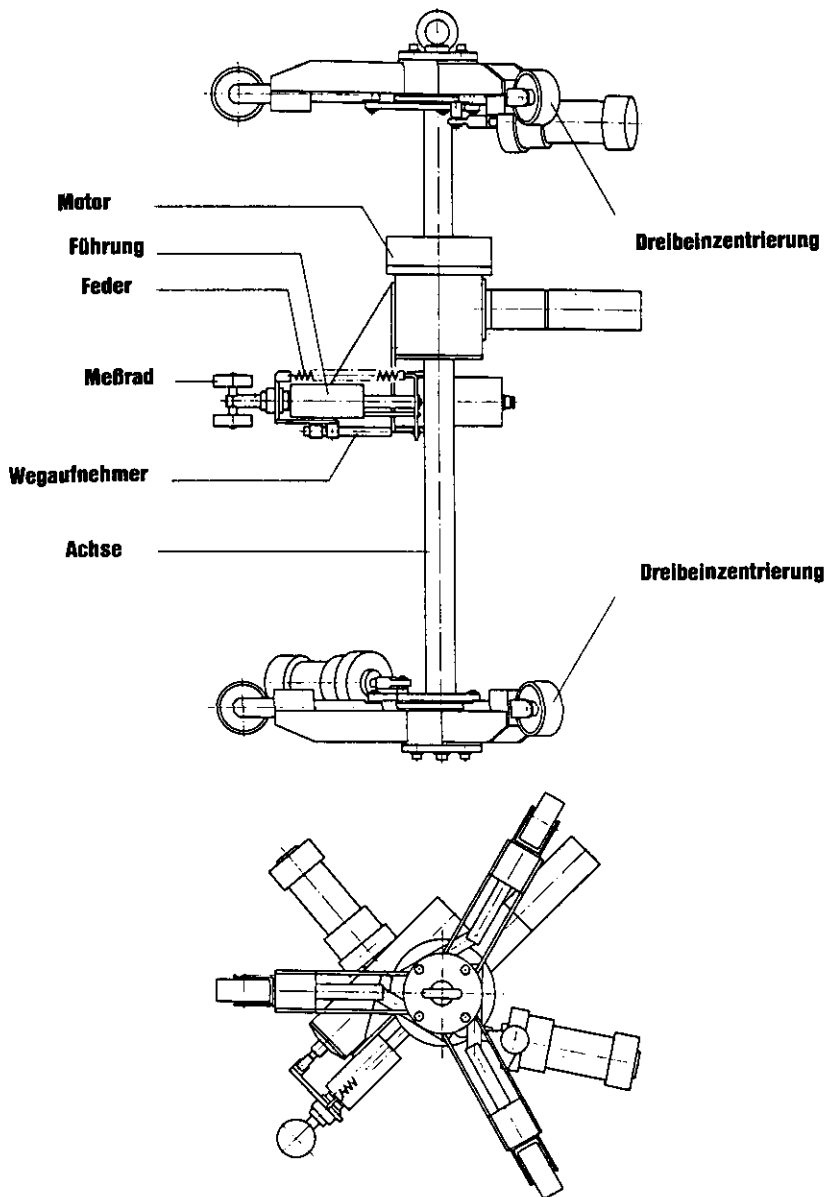


Abb. 4: Kalibermeßgerät zur Vermessung des Bohrlochdurchmessers

Zur Bestimmung der Bohrlochkonvergenz wurde ein KONVERGENZMESSGERÄT (Abb. 5,6) entwickelt. Dieses patentierte Meßgerät besitzt ein Zylinderkolbensystem, bei dem sowohl die Kolbenstange als auch das Zylindergehäuse mit Andrucktellern versehen ist.

Zum Einbringen ins Bohrloch kann der Kolben über einen Druckluftanschluß gegen die Federkraft im Gehäuse verschoben werden. Durch Druckentlastung fährt der Kolben durch Federkraft wieder

aus und verspannt sich im Bohrloch. Das Gerät läßt sich dadurch in einem Durchmesserbereich von 590 bis 750 mm einsetzen und ist selbsthaltend. Die Relativbewegung zwischen Kolben und Zylindergehäuse wird über eine Friktionskupplung auf ein induktives Wegaufnehmersystem übertragen. Die Friktionskupplung garantiert, daß sich der Wegaufnehmer nach dem Positionieren im Bohrloch immer am Anfang seines Meßhubes befindet. Daher erlaubt es die Konstruktion ein Wegaufnehmersystem zu wählen, dessen Meßbereich der zu erwartenden Meßgröße angepaßt ist.

Das Konvergenzmeßgerät wird stationär ins Bohrloch eingebaut. Mit der schon vorher vorgestellten Doppel-Dreibein-Konstruktion wird das Konvergenzmeßgerät ins Bohrloch abgesenkt. Nach dem Verspannen des Konvergenzmeßgerätes wird die Einbauvorrichtung wieder aus dem Bohrloch entfernt.

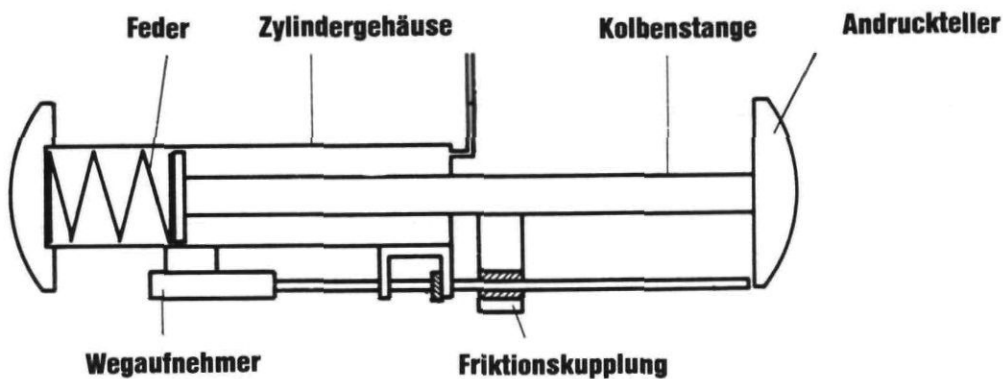


Abb. 5: Prinzipskizze des Konvergenzmeßgerätes

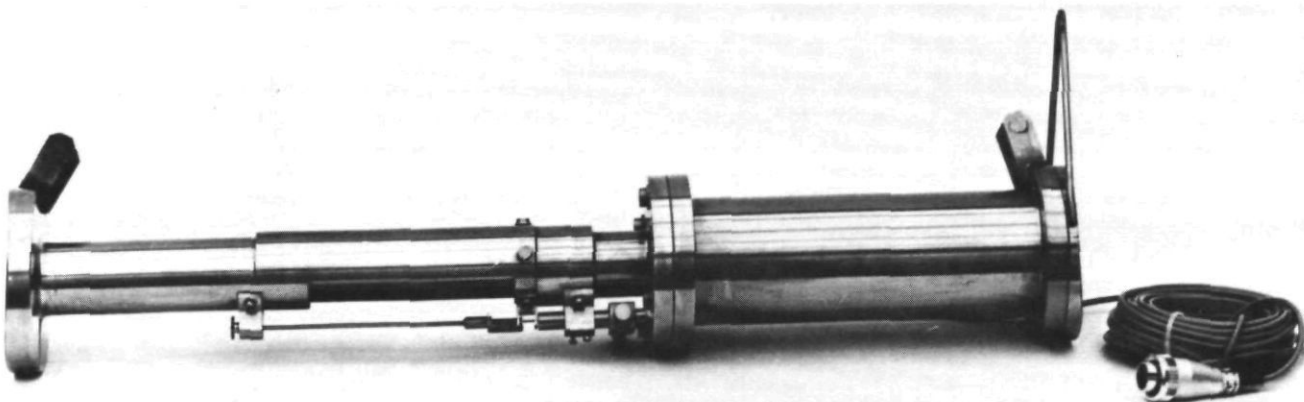


Abb. 6: Einsatzbereites Konvergenzmeßgerät

Zur Messung von Gebirgsspannungen (Auflaufdruck des Gebirges) besitzen die entwickelten Druckmeßköpfe (Abb. 7) in dem zylindrischen Gehäuse 3 um 45 Grad versetzt angeordnete hantelförmige Stahlzylinder, die mit Dehnungstreifen (DMS) versehen sind und als Meßaufnehmer dienen.

Mit dieser Anordnung soll der anisotrope Spannungszustand im Umfeld der Bohrlöcher erfaßt werden.

Jeder Druckmeßkopf ist mit einer Temperaturmeßstelle versehen. Die Druckmeßköpfe wurden nach dem Einsetzen in die Meßbohrungen mit Salzbeton vergossen, um einen schnelleren Kraftschluß mit dem Gebirge zu erreichen.

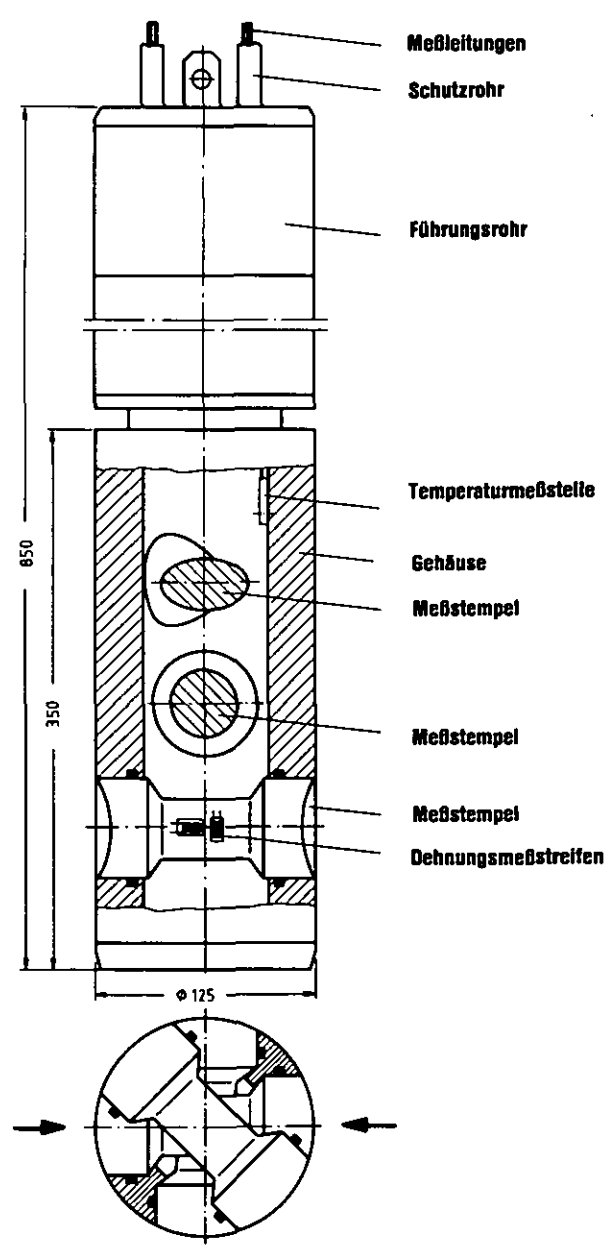


Abb 7: Druckmeßkopf

3. Wärmeeintrag

Durch den Wärmeeintrag in ein Bohrloch soll die Wärmeentwicklung von radioaktiven Abfallgebinden simuliert und damit ein entsprechendes Temperaturprofil im Salz erzeugt und dessen Einfluß auf die Bohrlochkonvergenzrate und die Änderung von Spannungszuständen erfaßt werden.

Das Konzept des Wärmeeintrags sieht vor, die Bohrlochluft im geschlossenen Kreislauf umzuwälzen und dabei nach Erfordernis aufzuheizen. Hierzu wird die Bohrlochluft durch ein 3 m langes, ins Bohrloch hineinragendes Rohr (Durchmesser 150 mm) über ein Gebläse angesaugt, in einer Heizstrecke durch entsprechende Wärmezufuhr aufgeheizt und dann druckseitig über ein ins Bohrloch hinab führendes 30 m langes Rohr zurück in das Bohrloch geblasen.

Von der Geometrie der Versuchsanordnung her kann demnach eine Gebindesäule von ca. 30 m Höhe simuliert werden.

Die Heizleistung kann den Erfordernissen angepaßt werden, wobei die Temperaturanhebung im umliegenden Salz direkt bzw. die Bohrlochwandtemperatur nur indirekt über die Bohrlochlufttemperatur und den Wärmeübergang Luft/Salz gemessen bzw. abgeschätzt werden kann.

4. Versuchsanordnung

Die Abb. 8 zeigt die Anordnung der Heizstrecke, der Konvergenzmeßgeräte und der Temperaturfühler im Bohrloch 1 sowie die Temperaturfühler und die Druckmeßköpfe außerhalb des Bohrloches 1 im Schnitt.

Im Grundriß (Abb. 9) dargestellt ist die Heizstrecke zum Wärmeeintrag mit ihren Komponenten, sowie die geometrische Lage der Pt-100-Temperaturfühlerbündel und der Druckmeßköpfe, die in Linie zu Bohrloch 2 angeordnet sind.

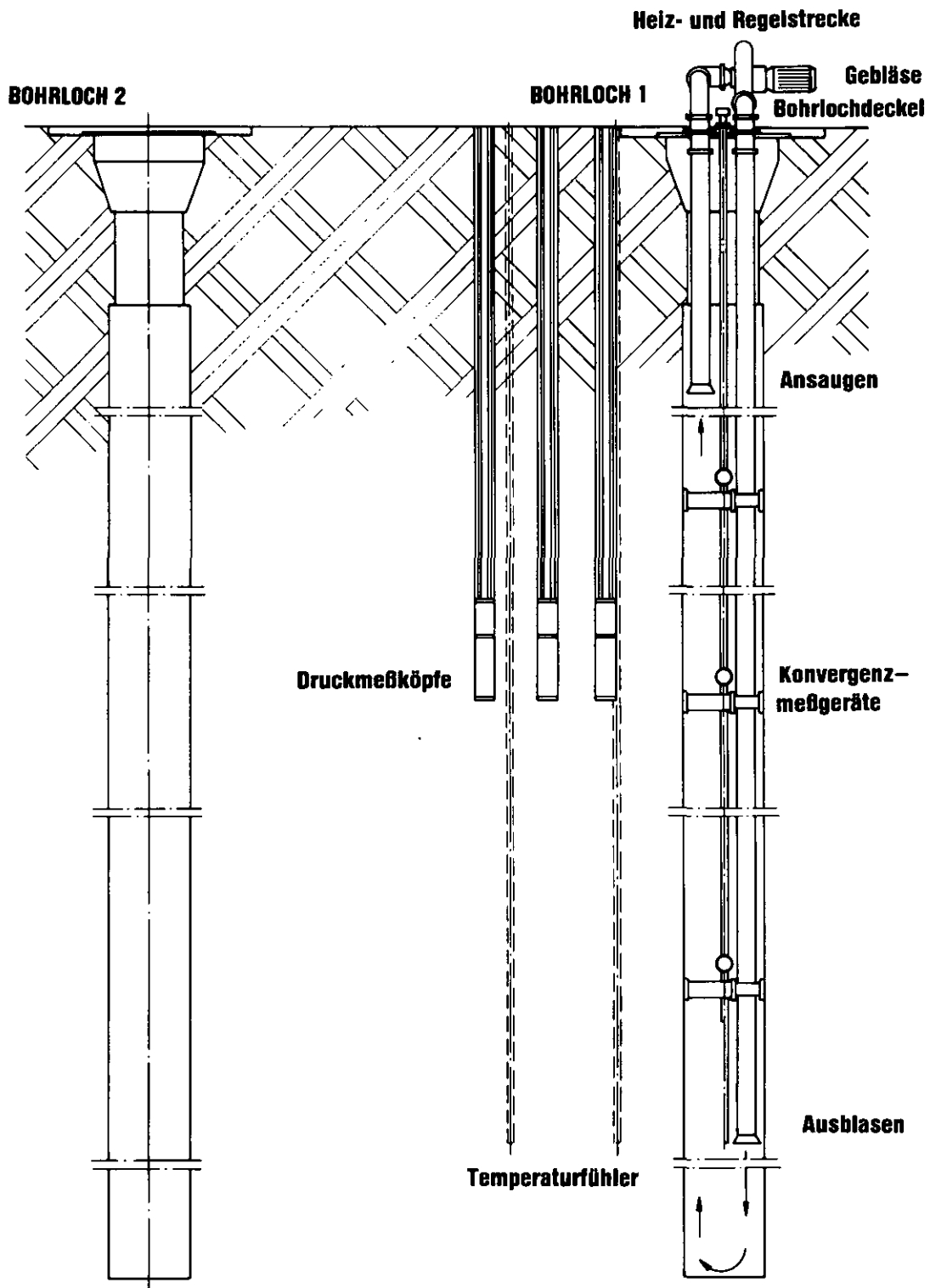


Abb. 8: Versuchsanordnung auf der 750 m-Sohle im Schnitt

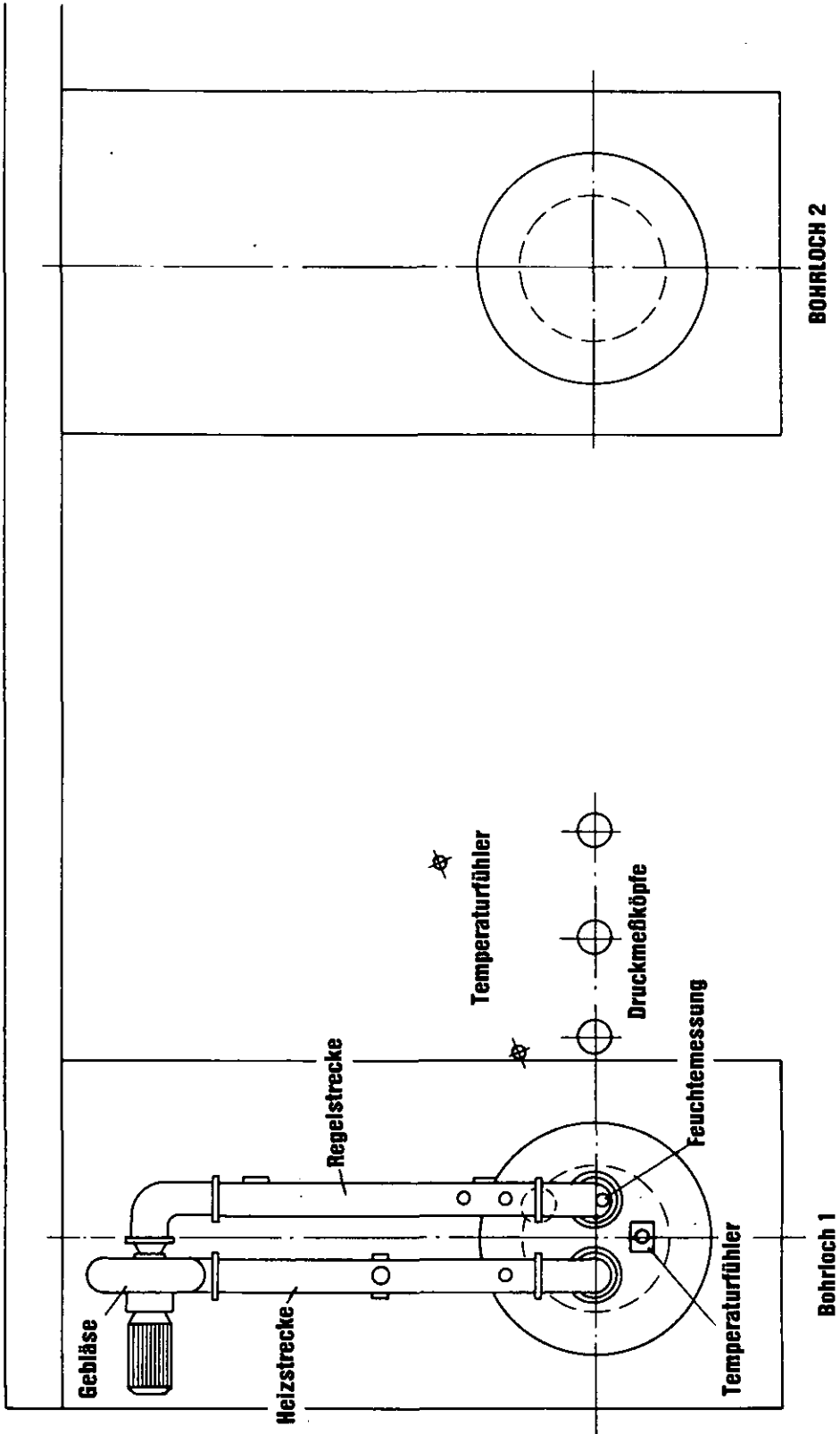


Abb. 9: Grundriß der Versuchsanordnung auf der 750 m-Sohle

Die Meßwerterfassungsanlage (Abb. 10) registriert zentral alle Meßdaten. Die Anlage besteht aus einer automatischen Meßstellenumschalteinheit mit Meßverstärkern und Digitalanzeige sowie aus einem Steuergerät zur Wahl des Meßzyklus und einem Drucker zur Aufzeichnung der Meßwerte.

Als Sicherheitseinrichtung gegen Stromausfall ist die Meßwerterfassungsanlage mit einem Akku ausgerüstet.

Nach einem Netzausfall ist eine Datenspeicherung von 20 Tagen gegeben.

Durch das Anfahren von schweren Maschinen kommt es im Bergwerk zudem zu nicht unerheblichen Netzschwankungen, die durch einen Wechselspannungsstabilisator aufgefangen werden und der der Meßwerterfassung vorgeschaltet ist.

Die Widerstandsheizrohre der Heizstrecke werden über einen Regeltrafo auf ihre Heizleistung eingestellt.

Die elektrische Versorgung aller Verbraucher geschieht über einen Trenntrafo mit Erdschlußüberwachung.

Die elektrischen Regelgeräte sowie sämtliche Meßgeräte sind in einem staubdichten Schrank untergebracht, der zudem mit einem Wärmetauscher ausgerüstet ist, damit die zulässigen Gerätetemperaturen nicht überschritten werden.

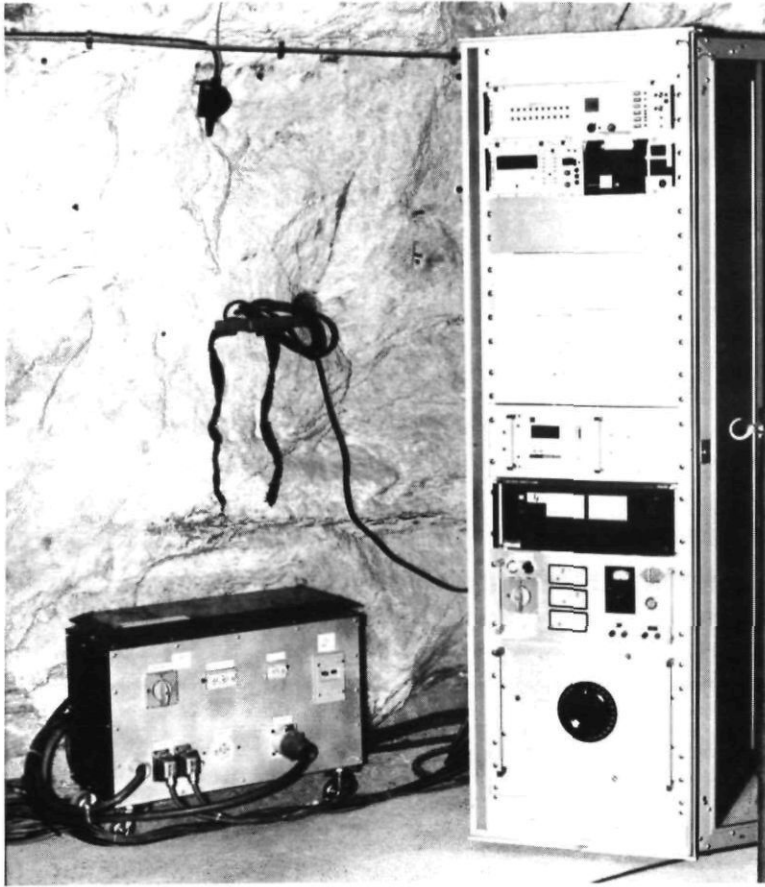


Abb. 10: Zentrale Meßwerterfassungsanlage und Regeltechnik

5. Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse stellen sich, hier zunächst für den Bohrlochverlauf, wie folgt dar.

Die Verlaufsmessungen an 3 Bohrlöchern in der alten AVR-Strecke ergaben Abweichungen von der Vertikalen zwischen 1 und 3 Grad.

Am Beispiel von Bohrloch 2 sei das Ergebnis verdeutlicht.

Das Bohrloch ist über seine gesamte Länge um etwas mehr als seinen Durchmesser in südlicher Richtung verlaufen (Abb. 11).

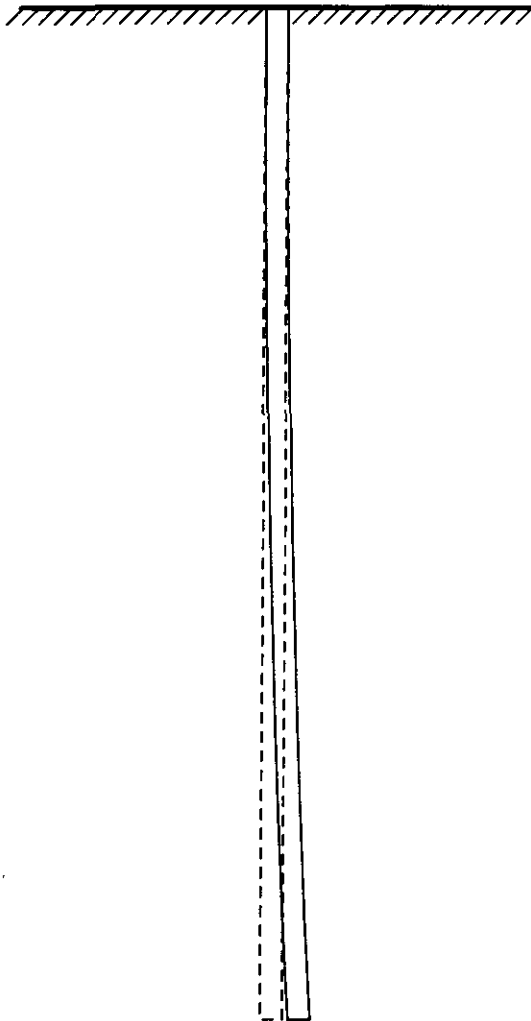


Abb. 11: Bohrlochverlauf, Abweichung von der Vertikalen von Bohrloch 2

Das nächste Bild (Abb. 12) zeigt den Verlauf dieses Bohrlochs in einer etwas anderen Darstellung. Hervorgehoben sind der Bohrlochkopf, die Teufe 19,5 m und der Bohrlochboden in 35 m Teufe. Das Bild zeigt einen Verlauf in südlicher Richtung.

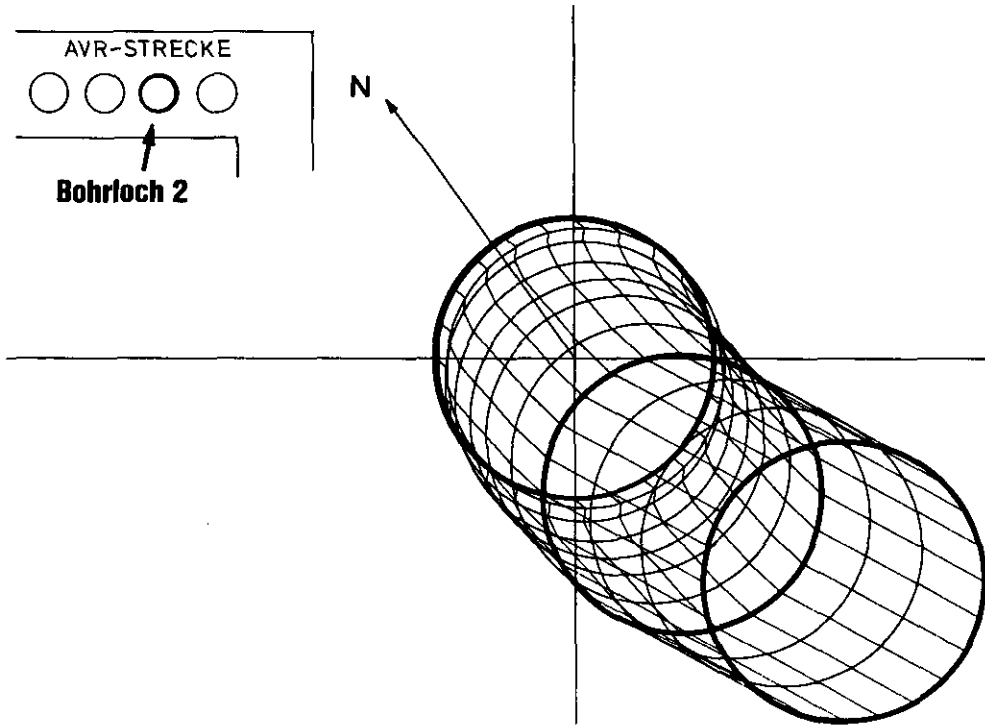


Abb. 12: Richtungsverlauf von Bohrloch 2

Der Durchmesser der Bohrlöcher 1 und 2 wurde teufenabhängig, d. h. mit einer Schrittweite von 3 m Teufe in jeder Meßebene mit einem Schrittwinkel von 30 Grad gemessen.

Die Meßergebnisse zeigen, daß die Differenz zwischen $D_{\max} = 703 \text{ mm}$ und $D_{\min} = 699 \text{ mm}$ kleiner 5 mm beträgt und die Ovalität somit gering ist.

Die Gebirgstemperatur beträgt in Bohrloch 1 sowie in den Temperaturmeßbohrungen 32 mit einer geothermischen Teufenstufe von 2°C pro 30 m.

Nach Aufnahme des Wärmeeintrags von 1,4 kW elektrischer Heizleistung in Bohrloch 1 ergibt sich für Bohrloch 1 eine Temperatur-

erhöhung um 11 bis 13°C (Abb. 13).

Die Temperaturfühler in 1 m und 2 m Abstand von Bohrloch 1 weisen erwartungsgemäß einen geringeren Temperaturanstieg auf. Er beträgt in 1 m Abstand von der Wärmequelle 3 bis 5°C und in 2 m Abstand von der Wärmequelle 2 bis 3,5°C.

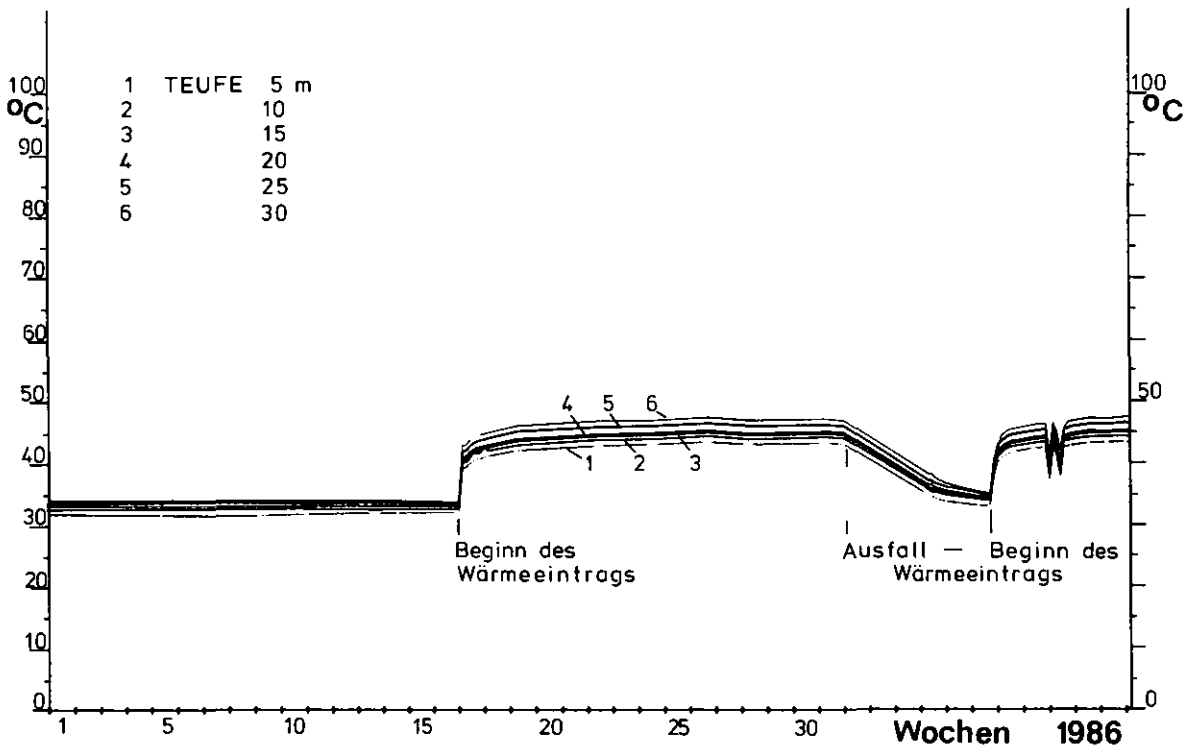


Abb. 13: Temperaturanstieg der Bohrlochluft von Bohrloch 1 bei Wärmeeintrag

Nach einer Standzeit von 2,5 a zeigen die Konvergenzmeßgeräte den dargestellten Konvergenzverlauf (Abb. 14).

Die auf den Durchmesser bezogene Konvergenzrate beträgt somit weniger als 0,1 % a.

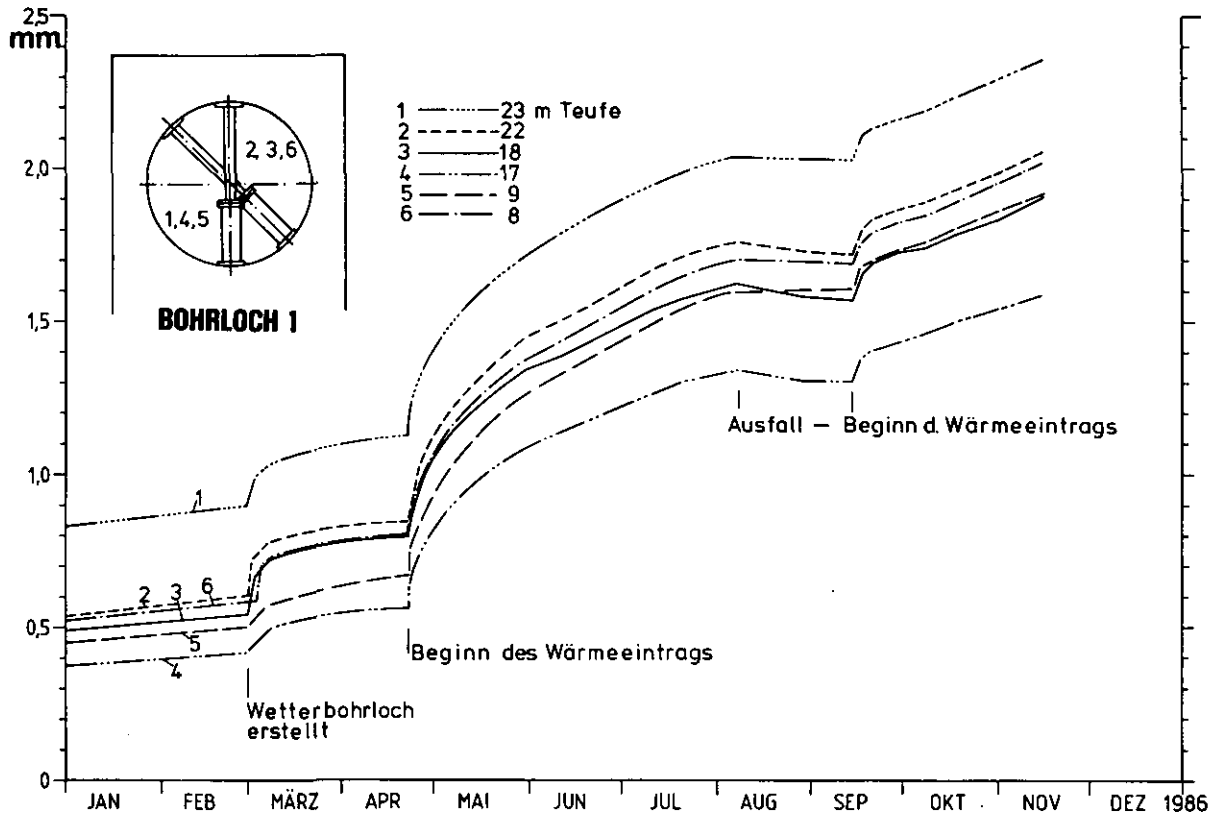


Abb. 14: Bohrlochkonvergenz von Bohrloch 1

Bei der Messung der Gebirgsspannungen wird der langsame Anstieg des Auflauddruckes auf die "schlaff" eingebauten Druckmeßköpfe registriert (Abb. 15).

Die Messungen wurden im 1. Halbjahr 1984 begonnen.

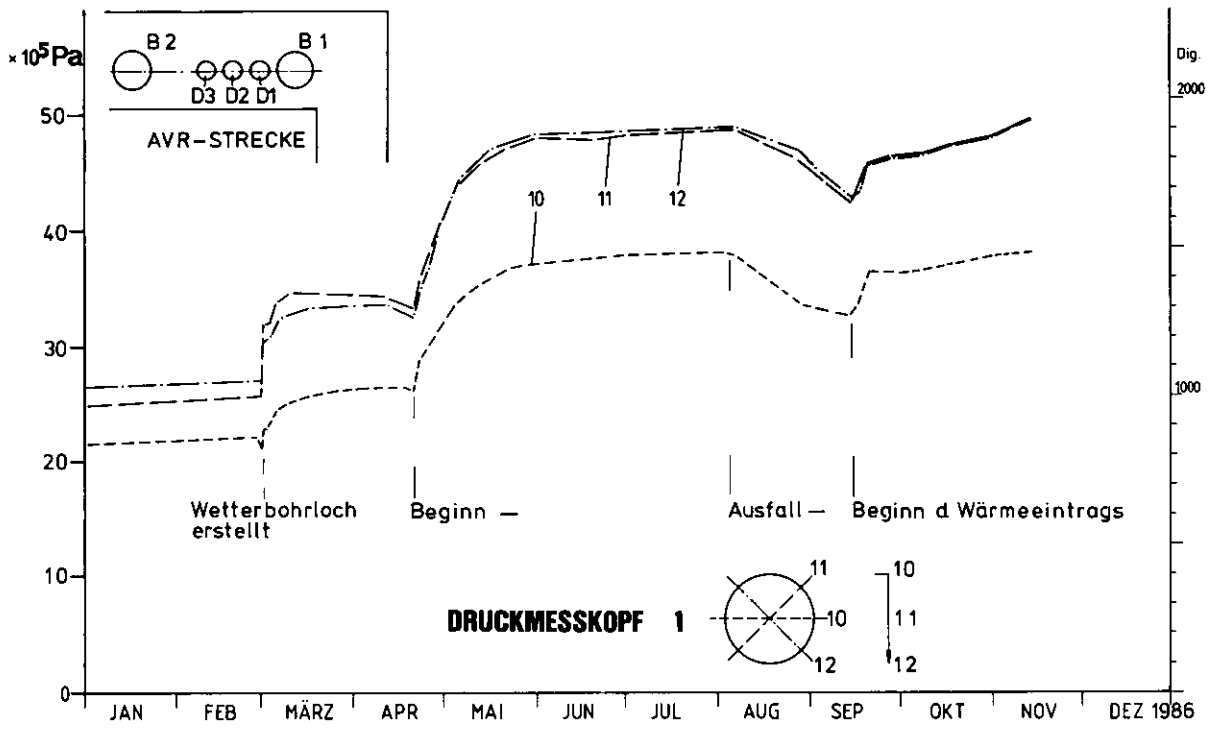


Abb. 15: Gebirgsauflaufdruck auf den Druckmeßkopf D1

TEILNEHMERVERZEICHNIS

A

Augustin, Friedhelm	KFA	Jülich
---------------------	-----	--------

B

Baier, Jürgen Dr.	Noell	Würzburg
Ballensiefen, Günter Dr.	KFA	Jülich
Barnert, Eike Dr.	KFA	Jülich
Bauder, P. Dr.	Badenwerk	Karlsruhe
Bienek, Heinz Dipl.-Ing.	Steag	Essen 1
Bohlen, Dieter Dipl.-Geol.	KWU	Offenbach
Bottke, Heinz Prof. Dr.	TU Clausthal	Clausthal-Zellerf.
Breitbach, Gerd Dr.	KFA	Jülich
Brenk, Dieter Dr.	Brenk-Systemplanung	Aachen
Brinkmann, Harro Dipl.-Ing.	DWK	Hannover 1
Brinkmann, Heinz Ulrich Dipl.-Ing.	KFA	Jülich
Brodda, Bert-G. Dr.	KFA	Jülich
Brücher, Heiner Dr.	KFA	Jülich
Brückner, Christian Dr.	KfK	Karlsruhe
Brüssermann, Klaus Dr.	GUV	Aldenhoven
Buttler, Rolf Dr.	KFA	Jülich

C

Closs, Klaus-Detlef Dr.	KfK	Karlsruhe
-------------------------	-----	-----------

D

De Boer, Teunis Cornelius Dr.	ECN	Petten, NL
Dickmeis, Günter	KFA	Jülich
Dix, Siegfried	KFA	Jülich

E

Elsen, Reinold Dipl.-Ing.	RWIH	Aachen
Ermisch, Klaus Dipl.-Ing.	PREAG	Hannover 91

F

Franken, Hermann-Josef	KFA	Jülich
Franzen, Alfred	KFA	Jülich
Fröhlich, Hanskurt Dipl.-Ing.	Battelle	Frankfurt

G

Geipel, Helmut RD	BMFT	Bonn 2
Geiser, Heinz Dr.	WTI	Titz-Rödingen
Götze, Hans-Günter Dipl.-Ing.	WTI	Titz-Rödingen
Guse, Klaus Dipl.-Ing.	DS	Friedrichshafen 1

H

Hahne, Klaus Dipl.-Ing.	RWTH	Aachen
Haijtkink, Bertus Dipl.-Ing.	CEC	Brüssel
Halaszovich, Stephan Dr.	KFA	Jülich
Harnack, Klaus Dipl.-Ing.	PTB	Braunschweig
Hein, Hans-Jürgen Dipl.-Ing.	RWTH	Aachen
Henze, Rolf Dr.	GSF	Braunschweig
Hoengen, Franz Josef	KFA	Jülich

J

Jäger, Karl Dipl.-Ing.	DS	Friedrichshafen
Johnen, Dieter	KFA	Jülich

K

Köllner, Wolfgang	KFA	Jülich
Kraemer, Reinhard Dipl.-Ing.	KfK	Karlsruhe
Kreutz, Ferdinand Dipl.-Ing.	KFA	Jülich
Kriegel, Heimfried Dipl.-Math.	PTB	Braunschweig
Kriff, Hans	KFA	Jülich
Kroebe, Reinhard Dr.	KfK	Karlsruhe
Kröger, Heinz Dr.	TÜV Hannover	Hannover
Kroger, Wolfgang Dr.	KFA	Jülich
Kroth, Kornelius Dr.	KFA	Jülich
Kunze, Peter Dipl.-Ing.	WAK	Eggenstein-Leopoldsh.

L		
Landtorf, Robert Dipl.-Ing.	TÜV Bayern	München 21
Lauppe, Wolf Dieter Dr.	KFA	Jülich
Lorentz, Hans Dipl.-Phys.	NMU	Hannover 1
Loser, Herbert Dipl.-Ing.	DS	Friedrichshafen
Lüschen, H. Dipl.-Phys.	EVS	Stuttgart
M		
Mehling, Otto Dr.	NUKEM	Alzenau
Melchers, Wilhelm Dipl.-Ing.	TÜV Rheinland	Köln
Merz, Erich Prof. Dr.	KFA	Jülich
Mehling, Dieter Dipl.-Ing.	GNS	Essen 1
N		
Nau, Karl	KFA	Jülich
Niephaus, Dieter Dr.	KFA	Jülich
Nipp, Hans-Konstantin Dr.	BGR	Hannover 51
O		
Offermann, Peter Dr.	HMI	Berlin 39
P		
Podewils, Peter Dipl.-Phys.	DWK	Hannover 1
Pott, Günter Dipl.-Ing.	KFA	Jülich
Podewills, Alexandra	KfK	Karlsruhe
R		
Ratzke, Joachim Dipl.-Ing.	BZA	Aachen
Reisen, Willi	KFA	Jülich
Richter, Bernd Dr.	KFA	Jülich
Richter, Dieter Prof. Dr.	FHA	Aachen
Riedel, Hans-Jürgen Dr.	KFA	Jülich
Ritt, H.P. Dipl.-Ing.	IGF	Aachen
Rittscher, Dieter Dipl.-Ing.	GNS	Essen

S

Saiger, Siegfried Dr.	TÜV Bayern	München 21
Schädlich, Wolfram Dipl.-Ing.	KFA	Jülich
Schäffer, Hans-Jürgen	KFA	Jülich
Scherer, Winfried	KFA	Jülich
Schlechte, Peter Dr.	STIMLU	München 21
Schmidt, Manfred Werner Dipl.-Geol.	GSF	Braunschweig
Schmidt, Reinhard Dipl.-Ing.	NMU	Hannover 21
Schmitz, Helmut	KFA	Jülich
Schrumpf, Christian Dr.	DBE	Peine
Schröder, Bruno Dipl.-Ing.	KFA	Jülich
Schubert, Jürgen Bergdir.	OBA	Clausthal-Zellerf.
Schürer, Gerd	KFA	Jülich
Simmich, Klaus Dipl.-Ing.	Siemag	Netphen 1
Spilker, Harry Dipl.-Ing.	DWK	Hannover 1
Söchtig, Helmut	KFA	Jülich
Stein, Gotthard Dr.	KFA	Jülich
Sterner, Hakan Dipl.-Ing.	Rüterbau	Langenhagen
Stippler, Rolf Dr.	GSF	Braunschweig

W

Wagner, Otto Dipl.-Ing.	FHA	Aachen
Weyer, Wolfgang Dr.	WTI	Titz-Rödingen
Weishaupt, Martin Dr.	WAK	Eggenstein-Leopoldsh.
Wimmers, Manfred Dr.	AVR	Jülich
Wolters, Siegfried	KFA	Jülich

Z

Zange, Egon Dr.	KFA	Jülich
-----------------	-----	--------